

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**GUILHERME AUGUSTO QUEIROZ SCHÜNEMANN MANFRIN DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PROJETOS DE *SMART GRIDS* UTILIZANDO  
MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

**CURITIBA**

**2015**

GUILHERME AUGUSTO QUEIROZ SCHÜNEMANN MANFRIN DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PROJETOS DE *SMART GRIDS* UTILIZANDO  
MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Profº Dr. Robson Seleme

CURITIBA

2015

## TERMO DE APROVAÇÃO

GUILHERME AUGUSTO QUEIROZ SCHÜNEMANN MANFRIN DE OLIVEIRA

### AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PROJETOS DE *SMART GRIDS* UTILIZANDO MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Eng. De Produção, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela seguinte banca examinadora:



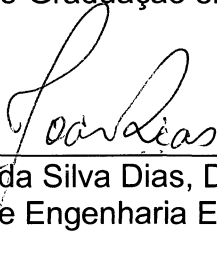
Prof. Eng. Robson Selme, Dr.  
Orientador – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPR



Prof.ª Adriana de Paula Lacerda Santos, Dr.ª  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPR



Prof. Eng. Cassius Tadeu Scarpin, Dr.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPR



Prof. Eng. João da Silva Dias, Dr.  
Departamento de Engenharia Elétrica – UFPR

Curitiba, 17 de dezembro de 2015

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, pela criação privilegiada que puderam me dar, pelas lições valiosas de vida, apoio e compreensão nos momentos difíceis, alegria e comemorações nos momentos felizes.

Agradeço aos meus irmãos e primos, pelo tempo de auxílio direto nesta dissertação, além das incontáveis horas de discussão, muitas vezes calorosas, que ajudaram a criar em mim o gosto pela ciência e me tornar uma pessoa melhor.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Robson Seleme, primeiramente pelas valiosas e sábias orientações. Também por não ter me deixado desamparado em nenhum momento nestes dois anos do curso de mestrado. Por fim, o agradeco pelas oportunidades profissionais que me apresentou, abrindo portas antes fechadas.

Agradeço aos colegas e professores do PPGEp com quem tive contato nestes dois anos do curso de mestrado. Tenham certeza de que este trabalho possui um pouco de cada um de vocês.

Agradeço à COPEL, em especial aos senhores Julio Omori e Zeno Nadal, pela colaboração com a pesquisa e abertura para investigações acerca do Projeto Paraná *Smart Grid*.

Agradeço a todos os especialistas que participaram desta pesquisa. Sua expertise foi primordial para a realização deste trabalho

Agradeço, também, à CAPES, pelo apoio financeiro para elaboração desta pesquisa.

## RESUMO

Os sistemas elétricos não sofreram grandes alterações em sua topologia, soluções e métricas desde sua concepção. Entretanto, a utilização de sensores, comunicações, capacidade computacional e controle para aumentar e melhorar as funcionalidades do sistema de fornecimento de energia elétrica tem grande potencial para revolucionar o setor elétrico. A instalação e operação adequadas dessas chamadas redes inteligentes (*Smart Grids* – SG) tornará os sistemas elétricos mais eficientes, seguros, dinâmicos e funcionais. Porém, inúmeras dificuldades surgem quando da implementação em larga escala de SG nos sistemas elétricos existentes, que podem ser técnicas, financeiras, ambientais e regulatórias, entre outras. Com o intuito de auxiliar neste processo, optou-se pela construção de um modelo para avaliar o desempenho de projetos de implementação de SG. Para tal, identificaram-se, com uma revisão sistemática da literatura, fatores chave e motivadores estratégicos para implementação de SG. Posteriormente foram utilizados três métodos multicritério de apoio à tomada de decisão: o método Delphi, para confirmar com especialistas os parâmetros que compõem o modelo; e os métodos do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e do *Multicriteria Decision Aid Constructive Approach* (MCDA-C) para modelar, no que se refere às suas estruturas lógicas e de tratamento de dados, a avaliação de projetos de SG. Avaliou-se o modelo proposto através de um estudo de caso de um projeto piloto da COPEL na região de Curitiba – PR, obtendo-se resultados com essa nova abordagem que permitiram identificar e hierarquizar os fatores chave e motivadores mais relevantes para o projeto estudado, além de construir uma estrutura quantitativa para monitorar e melhorar o desempenho do projeto. A principal contribuição deste trabalho é a nova abordagem proposta, um modelo adaptativo e amplo o suficiente para avaliar qualquer projeto de SG.

**Palavras-chave:** *Smart Grids*. Gestão de projetos. *Analytic Hierarchy Process* (AHP). *Multicriteria Decision Aid Constructive Approach* (MCDA-C).

## ABSTRACT

Since their conception, electric systems have not been through large modifications regarding their topology, solutions and metrics. However, the use of sensors, communications, computational capacity and control to increase and improve the power system functionalities has great potential to revolutionize the electric sector. The proper installation and operation of these so-called *Smart Grids* (SG) will make electric systems more efficient, safe, dynamic and functional. Nonetheless, many difficulties emerge when implementing SG technologies in a large scale. These difficulties may be technical, financial, environmental, regulatory, etc. In order to aid in this process, the proposition of a model to assess SG implementation projects performance was chosen. For this purpose, SG implementation key-factors and strategic driving factors were searched in the literature through a systematic review. Later, three multicriteria decision aid methods were used to consolidate the model being proposed: the Delphi method, to validate with experts the chosen model parameters; and the Analytic Hierarchy Process (AHP), along with the Multicriteria Decision Aid Constructive Approach (MCDA-C), to model, in relation to their logical and data treatment structures, the SG project assessment. A case study to evaluate the model was conducted, in which a local utility SG pilot-project was assessed. It was possible to, using this novel approach, identify and rank the driving and key-factors that were more relevant to the project being assessed. Also, to build a quantitative roadmap to monitor and improve the project performance. The main contribution of this work is the novel approach proposed, an adaptive model that can comprehensively assess any SG project.

**Key-words:** *Smart Grids*. Project management. *Analytic Hierarchy Process* (AHP). *Multicriteria Decision Aid Constructive Approach* (MCDA-C).

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS MOTIVADORES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SG .....	24
FIGURA 2 - VISÃO GERAL DE UMA <i>SMART GRID</i> .....	29
FIGURA 3 - PIRÂMIDE DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES .....	34
FIGURA 4 - INVESTIMENTO X RETORNO DE FUNCIONALIDADES DE SG.....	34
FIGURA 5 - MEDIDOR ELETRÔNICO INTELIGENTE E IHD.....	36
FIGURA 6 - TOPOLOGIA DA INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO .....	38
FIGURA 7 - AGENTES ENVOLVIDOS NO DESENVOLVIMENTO DE SG NO BRASIL .....	45
FIGURA 8 - EXEMPLO DE HIERARQUIA PARA APLICAÇÃO DO AHP .....	55
FIGURA 9 - ESTRUTURA DO MCDA-C .....	59
FIGURA 10 - EXEMPLO DE RESULTADO DO MÉTODO MCDA-C .....	64
FIGURA 11 - UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO.....	65
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA METODOLOGIA .....	67
FIGURA 13 - FASES DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....	68
FIGURA 14 - MODELAGEM DA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE SG .....	73
FIGURA 15 - MATRIZ DE JULGAMENTOS SEMÂNTICA E FUNÇÃO DE VALOR PARA O DESCRITOR Nº DE CONSUMIDORES COM MEDIÇÃO INTELIGENTE .....	97

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - AVALIAÇÕES DELPHI POSITIVAS POR PARÂMETRO .....	82
---	----

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PROCEDIMENTOS DE PESQUISA.....	21
QUADRO 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS REDES CONVENCIONAL E INTELIGENTE.....	23
QUADRO 3 - COMPILAÇÃO DE DEFINIÇÕES E CONCEITOS PARA SG - CONTINUA .....	25
QUADRO 4 - DESCRIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA ELÉTRICO .....	30
QUADRO 5 - RESUMO DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO DE SG ENCONTRADOS NA LITERATURA - CONTINUA .....	42
QUADRO 6 - PRINCIPAIS PROJETOS DE SG NACIONAIS - CONTINUA .....	46
QUADRO 7 - ESCALA PARA JULGAMENTOS DE VALOR NO AHP .....	54
QUADRO 8 - CATEGORIZAÇÃO DE FATORES PARA AVALIAÇÃO DE SG - CONTINUA .....	79
QUADRO 9 - AVALIAÇÃO DOS MOTIVADORES PARA COMPOSIÇÃO DO MODELO PROPOSTO .....	83
QUADRO 10 – ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO PARA QUALIDADE DE ENERGIA EXCLUSIVOS DE SG - CONTINUA .....	92
QUADRO 11 - ÁRVORE DOS PONTOS DE VISTA DO MCDA-C.....	95
QUADRO 12 - RESULTADOS DA FASE DE AVALIAÇÃO PARA TODA A ESTRUTURA DO MCDA-C.....	99



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS NO AHP PELOS ESPECIALISTAS .....	84
TABELA 2 - FATOR CHAVE X FATOR CHAVE, POR CATEGORIA .....	85
TABELA 3 - MATRIZ DA INFLUÊNCIA DOS FATORES CHAVE SOBRE OS MOTIVADORES ESTRATÉGICOS.....	86
TABELA 4 - COMPARAÇÃO PARITÁRIA DOS MOTIVADORES, SOB INFLUÊNCIA DO DESEMPENHO TÉCNICO .....	86
TABELA 5 - AUTOVETORES, AUTOVALORES, ÍNDICES E RAZÃO DE CONSISTÊNCIA DAS MATRIZES PARITÁRIAS.....	88
TABELA 6 - SENSIBILIDADE DOS JULGAMENTOS DO AHP QUANTO À INVERSÃO DE ORDEM DOS MOTIVADORES .....	89
TABELA 7 - HIERARQUIZAÇÃO DOS MOTIVADORES ESTRATÉGICOS PARA O PROJETO PARANÁ <i>SMART GRID</i> .....	90
TABELA 8 – NOVAS TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO APÓS REAJUSTE DA MAIS RELEVANTE .....	101
TABELA 9 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE MCDA-C .....	102

## LISTA DE SIGLAS

ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial  
ACB – Análise Custo Benefício  
AHP – *Analytic Hierarchy Process*  
AMI – Infraestrutura avançada de medição  
ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica  
CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
COPEL – Companhia Paranaense de Energia  
DGRI – *Directorate-General for Research & Innovation*  
DOE – *Department of Energy, United States*  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
EPRI – *Electric Power Research Institute*  
GIS – Sistema de Informação Geográfica  
HAN – *Home Area Network*  
IEC – *International Electrotechnical Commission*  
IHD – *In Home Display*  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
LAN – *Local Area Network*  
MCDA – *Multi Criteria Decision Aid*  
MCDA-C – *Multicriteria Decision Aid Constructive Approach*  
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação  
MDMS – *Meter Data Management System*  
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior  
NIST – *National Institute of Standards and Technology*  
OECD – *Organization for Economic Co-Operation and Development*  
ONS – Operador Nacional do Sistema  
SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition*  
SG – *Smart Grids*  
TIC - Tecnologias de informação e comunicação  
WAN - *Wide Area Network*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	17
1.1.1 Objetivo Geral .....	17
1.1.2 Objetivos específicos .....	18
1.2 JUSTIFICATIVA .....	18
1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	21
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
2.1 DEFINIÇÕES PARA <i>SMART GRIDS</i> .....	23
2.2 FUNCIONAMENTO DE UMA <i>SMART GRID</i> .....	28
2.3 FUNCIONALIDADES E RECURSOS NECESSÁRIOS DAS <i>SMART GRIDS</i> ..	33
2.3.1 Medição inteligente e <i>in home display</i> .....	35
2.3.2 Infraestrutura de telecomunicação .....	36
2.3.3 Automação .....	40
2.3.4 Outras funcionalidades.....	40
2.4 MODELOS PARA AVALIAR A IMPLEMENTAÇÃO DE <i>SMART GRIDS</i> .....	42
2.5 AS <i>SMART GRIDS</i> NO CONTEXTO NACIONAL .....	44
2.5.1 Principais projetos brasileiros.....	46
2.6 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO.....	48
2.6.1 Método Delphi .....	49
2.6.2 Método do <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP).....	51
2.6.3 Método do <i>Multicriteria Decision Aid Constructive Approach</i> (MCDA-C) .....	58
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>66</b>
3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	66

3.2	IDENTIFICAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E CONFIRMAÇÃO DE PARÂMETROS	67
3.2.1	Revisão sistemática da literatura.....	67
3.2.2	Seleção de especialistas para participar da pesquisa.....	70
3.2.3	Utilização do método Delphi.....	71
3.3	PROPOSIÇÃO DO MODELO GERAL .....	72
3.3.1	Modelar a avaliação de projetos de SG sobre os métodos do AHP e do MCDA-C .....	72
3.3.2	Criação dos instrumentos de coleta de dados.....	74
3.3.3	Definição de <i>software</i> de apoio ao uso dos métodos .....	75
3.4	APLICAÇÃO DO MODELO EM CASE REAL.....	76
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>78</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS PARA COMPOR O MODELO.....	78
4.2	APLICAÇÃO MÉTODO DELPHI .....	81
4.3	APLICAÇÃO MÉTODO AHP .....	83
4.4	APLICAÇÃO MÉTODO MCDA-C.....	91
4.4.1	Fase de estruturação .....	91
4.4.2	Fase de avaliação .....	96
4.4.3	Fase de recomendações.....	101
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO USADO COM O MÉTODO DELPHI.....</b>	<b>117</b>
	<b>APENDICE B - QUESTIONÁRIO PARA USO COM O MÉTODO AHP .....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>133</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As redes elétricas são sistemas destinados a produzir e transportar a energia elétrica até seus locais de consumo. Formadas por quatro principais domínios: geração, transmissão, distribuição e consumo, essas redes podem ser consideradas como as maiores máquinas em operação no mundo, compostas por milhares de quilômetros de cabos, inúmeras torres, geradores, transformadores, entre outros equipamentos (GELLINGS, 2009).

Desde a sua utilização em larga escala, as redes elétricas não passaram por mudanças significativas no que concerne à sua concepção estrutural, tecnologia, topologia e táticas utilizadas (GELLINGS, 2009). Tido como o futuro da rede elétrica, o conceito de redes elétricas inteligentes ou, em inglês, *Smart Grids* (SG), pode ser definido de maneira simplista, mas não totalmente abrangente, como a utilização da eletrônica do século XXI e das tecnologias de informação e comunicação (TIC) sobre a rede elétrica tradicional, para levar informações dessa rede a uma central de comunicação praticamente em tempo real (BLUMSACK E FERNANDEZ, 2012).

Uma SG pode ser entendida mais como um conceito do que como uma tecnologia em si, que permitiria à concessionária maior visibilidade e controle sobre seus recursos e serviços, maior segurança com relação a efeitos externos e maior participação dos agentes e *stakeholders* do sistema elétrico, incluindo os consumidores (FARHANGI, 2010). Assim, Falcão (2009) lista algumas características geralmente atribuídas às SG, como:

- auto recuperação: capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede;
- empoderamento do consumidor: habilidade de incluir os equipamentos e comportamento dos consumidores nos processos de planejamento e operação da rede;
- tolerância a ataques externos: capacidade de mitigar e resistir a ataques físicos e cibernéticos;
- qualidade de energia: prover energia com a qualidade exigida e representada pelas normas;

- acomodar uma grande variedade de fontes e demandas: capacidade de integrar de forma transparente uma variedade de fontes de energia de várias dimensões e tecnologias;
- reduzir o impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade: reduzindo perdas e utilizando fontes de baixo impacto ambiental;
- viabilizar e beneficiar-se de mercados competitivos de energia: favorecer o mercado varejista e a micro geração.

Para atingir algumas dessas funcionalidades, são necessárias iniciativas nas áreas de automação e controle digital, geração distribuída (GD), tecnologias de medição inteligente, comunicação e dispositivos eletrônicos, regulação do setor, desenvolvimento de fornecedores e modelos de mercado, entre outras.

Dessa forma, o recente avanço tecnológico, principalmente nas áreas ligadas às telecomunicações, expandiu as possibilidades de utilização das redes elétricas, sendo que o potencial das SG para revolucionar o setor elétrico é significativo. A instalação e operação adequadas dessas redes inteligentes tornaria os sistemas elétricos mais eficientes, seguros, dinâmicos e funcionais (COLLIER, 2010).

Os autores Blumsack e Fernandez (2012) comentam que a preferência por uma SG em detrimento de uma rede tradicional é óbvia, existindo diversos motivadores estratégicos para implementar essas redes. Um motivador estratégico é algo que responderia à pergunta "por que deve-se investir na instalação de SG?", sob o ponto de vista estratégico das distribuidoras de energia elétrica.

O atingimento desses objetivos (eficiência, segurança e dinamismo) em uma SG se daria por meio do processamento e análise de uma grande quantidade de informações sobre essa rede, permitindo tanto aos operadores do sistema quanto aos consumidores tomarem decisões mais inteligentes a respeito da energia que é gerada, transportada e consumida.

A tomada de decisões mais eficientes e eficazes a respeito dos recursos e da utilização da rede elétrica traria soluções para muitos dos problemas atuais de gestão desse sistema: crescimento da demanda energética, garantia do abastecimento, necessidade de redução de perdas, gestão da demanda de pico, maior satisfação dos clientes, novas oportunidades de serviços, atendimento de qualidade, possíveis crises energéticas, entre outros (ACHARJEE, 2013; LUTHRA *et al.*, 2014).

Entretanto, por se tratar de uma nova integração e uso de tecnologias que envolve muitos atores de interesses conflitantes, como o consumidor final, agentes reguladores do sistema elétrico, indústrias, concessionárias de energia e distribuidoras, a implementação das SG tem ocorrido a passos lentos e encontrado muitos obstáculos em várias frentes (MUENCH *et al.*, 2014): técnica, financeira, regulatória, operacional, etc.

Aspectos como a falta de uma estrutura sólida de regulação para uso das tecnologias e modelos de mercado das SG, falta de habilidades técnicas e conhecimento necessários para desenvolvimento das SG, incertezas do mercado, necessidade de atendimento de qualidade por parte das distribuidoras, imaturidade tecnológica e outros podem ser citados como barreiras para o desenvolvimento adequado das SG no mundo todo (LUTHRA *et al.*, 2014).

Nesse contexto de barreiras e incertezas é que as companhias de energia, distribuidoras, indústrias e governos tem manifestado iniciativas em prol das SG de maneira cautelosa, normalmente sob a forma de projetos-piloto, a fim de melhor compreender como a adoção dessas tecnologias impacta no sistema elétrico. Dessa forma, a adoção de soluções para implementar SG passa pela definição de métricas, diretrizes, roteiros, variáveis e metodologias que facilitem a compreensão, o desenvolvimento e a avaliação de projetos dessa natureza. Gerir um projeto de SG é uma tarefa altamente complexa, que envolve muitas variáveis e *stakeholders*, e em muitos casos não possui aplicabilidade ampla, isto é, não possui soluções adaptáveis a qualquer contexto regional (MUENCH *et al.* 2014).

Outro problema relativo à adoção de soluções para as SG é o fato de que, para aderir a um programa grande de implementação de redes inteligentes através de projetos de larga escala, as companhias de energia precisam de aplicações, tecnologias e soluções validadas e seguras, uma vez que se propor a instalar novas tecnologias sem a preparação adequada pode gerar grandes prejuízos. Ainda, por tratar-se de um tema inovador, é preciso estar atento à atualidade das pesquisas sendo desenvolvidas na área (FARHANGI, 2010).

Entretanto, como companhias diferentes podem escolher soluções diferentes para o mesmo conjunto de motivadores e obstáculos das SG, sem contar que, de acordo com características da atual rede elétrica e condições políticas e socioeconômicas locais, os objetivos pretendidos com a implantação das redes

inteligentes e os caminhos escolhidos para atingir essas metas são diferentes, aumenta-se a dificuldade em se validar possíveis métricas e soluções gerais para esses projetos (GELLINGS, 2009; BLUMSACK E FERNANDEZ, 2012; MUENCH *et al.*, 2014, PICA *et al.*, 2011; DUARTE *et al.*, 2013).

Assim, avaliar adequadamente o sucesso de um projeto de SG, tanto a ser desenvolvido quanto já em andamento, é primordial para gerar conhecimentos e experiências essenciais aos *stakeholders* desse sistema, fatores imprescindíveis para o sucesso na transição entre a rede atual e a rede do futuro (FARHANGI, 2014). A falta de unanimidade quanto ao que seria a inteligência da rede, aliada à tendência de enfatizar pontos diferentes para o que é mais importante durante a implementação das SG (SUN *et al.*, 2011; BANDSATT *et al.*, 2012) leva à falta de um conjunto de parâmetros universais e hierarquizados para avaliar iniciativas de implementação de SG.

Frente a tantas barreiras para o desenvolvimento de projetos e efetiva aplicação de tecnologias que permitam às redes elétricas tornarem-se mais inteligentes, levantou-se a seguinte questão de pesquisa: *como avaliar de maneira dinâmica o desempenho de projetos de Smart Grids?*

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho aborda a pergunta de pesquisa levantada anteriormente por meio da proposição de um modelo para avaliar a implementação e o desempenho de projetos SG. Nesta pesquisa, um modelo é definido como sendo um resumo ou elemento conceitual capaz de representar processos, variáveis e relacionamentos, mas que não fornece orientações específicas ou práticas para implementação (TOMHAVE, 2005). Buscando responder à pergunta de pesquisa proposta, os objetivos, geral e específicos, desta dissertação são descritos a seguir.

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é **propor um modelo genérico para avaliar projetos de implementação de *Smart Grids***, de acordo com a estratégia das distribuidoras de energia elétrica para uma dada área de abrangência.



### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos intermediários para se alcançar o geral são:

- identificar fatores chave e motivadores estratégicos para implementação de SG;
- modelar a avaliação de projetos de SG utilizando métodos multicritério de apoio à tomada de decisão (MCDA);
- avaliar o modelo proposto por meio da aplicação em um caso real.

No contexto de redes elétricas inteligentes, dependendo das necessidades e da visão sobre as SG, mudam-se os objetivos e métricas dos projetos. Entretanto, para regiões com motivadores semelhantes para a implementação das SG, o escopo dos projetos a serem adotados não deveria alterar-se de forma significativa, mas apenas as soluções técnicas adotadas (FARHANGI, 2010). Assim, modelos podem fornecer um conjunto básico de recursos preditivos essenciais para a gestão das SG (ROSENFELD, 2010).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Para adequadamente planejar, construir, operar e gerir uma rede elétrica inteligente é necessário avaliar de forma ampla os benefícios e motivadores das SG, identificar seus obstáculos e deficiências, balancear o desenvolvimento de suas tecnologias e estudar sua influência no mercado e na regulação do setor. Com o intuito de auxiliar neste processo, optou-se pela construção de um modelo.

Dentro da área de Inovação e Tecnologia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFPR, este trabalho enquadra-se em sua linha de pesquisa, “Inovação em Projetos, Produtos e Processos”, ao abordar a energia elétrica como um produto e as SG como uma inovação a ser desenvolvida nos sistemas elétricos, capaz de alterar profundamente a forma como esse produto é gerado, transmitido, consumido e comercializado.

Segundo o relatório do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2012), as SG apresentam-se como uma alternativa inteligente aos altos investimentos exigidos para atender a demanda da forma tradicional, e mostra que o governo

nacional, por meio do Ministério de Minas e Energia, vê as redes elétricas inteligentes como uma das prioridades de pesquisa e desenvolvimento para o setor nos próximos anos.

Identificou-se uma necessidade de se modernizar o setor por meio da adoção de tecnologias de SG. Porém, apesar da utilização de tecnologias de redes inteligentes crescer ano após ano, no que parece ser uma macrotendência mundial (MUENCH *et al.*, 2014), a harmonização de interesses conflitantes entre atores diferentes do setor, o teste e a validação de soluções (técnicas e regulatórias) em situações reais, a imaturidade tecnológica da mão-de-obra, entre outros, ainda precisam ser mais estudadas para que as SG desenvolvam-se de modo adequado e definitivo (LUTHRA *et al.*, 2014).

Dessa forma, este trabalho justifica-se pois, apesar de existirem diversos modelos e metodologias para análise e avaliação da implementação das SG, há dificuldades em se definir fatores de sucesso para projetos de SG; dificuldades em se definir adequadamente o nível/complexidade de análise desejado dos projetos; existem lacunas em análises que auxiliam a tomada de decisão sobre que variáveis são mais relevantes para implantar SG; há problemas em se obter um modelo global que considere tanto aspectos das SG quanto da rede atual, mas que também seja modular e adaptativo para as singularidades de cada projeto.

Abordar a avaliação do desempenho de SG por meio de métodos multicritério de apoio à tomada de decisão permite englobar os mais variados aspectos, não limitando a avaliação apenas a fatores técnicos ou de custo x benefício. Também, esses métodos permitem que se transformem avaliações qualitativas em valores numéricos, possibilitando análises matemáticas de convergência de opiniões, sensibilidade de parâmetros, normalização de critérios com unidades diferentes, além de não negligenciar aspectos objetivos nem subjetivos.

### 1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De modo a atingir os objetivos propostos para esta dissertação, a metodologia pretendida para este trabalho, a ser melhor detalhada em seção posterior, é composta de três principais etapas, a saber:

- **identificação dos parâmetros para compor o modelo inicial:** realização de pesquisa bibliográfica e documental sobre a implementação de redes elétricas inteligentes, a fim de identificar fatores chave de sucesso, modelos de avaliação de projetos desta natureza e motivadores estratégicos para as SG;
- **proposição do modelo inicial:** confirmar, por meio do método Delphi, com especialistas os parâmetros que comporão o modelo geral, pré-selecionados da literatura. Organizar os parâmetros que comporão o modelo com foco para aplicação no método *Analytic Hierarchy Process* (AHP): estruturar hierarquicamente fatores chave de implementação e motivadores estratégicos, sendo que os motivadores são as melhores alternativas estratégicas para a área de abrangência escolhida. Elaborar formulários para comparações paritárias do método AHP. Estruturar um roteiro para entrevistar especialistas, a fim de aplicar o método do *Multicriteria Decision Aid Constructivist Approach* (MCDA-C);
- **avaliação do modelo proposto:** aplicar o modelo proposto em um estudo de caso real, coletando dados de um projeto-piloto de SG. Priorizar os fatores chave para implementação de SG e apontar a melhor alternativa para o projeto avaliado, por meio do método AHP. Utilizar a resposta do método AHP como entrada para construir possibilidades de ação por meio do método MCDA-C.

Os procedimentos metodológicos associados a seus respectivos objetivos de pesquisa são mostrados no Quadro 1.

Objetivo geral	#	Objetivos específicos	Procedimento de pesquisa
Propor um modelo para avaliar projetos de implementação de <i>Smart Grids</i>	1	Identificar fatores chave e motivadores estratégicos para implementação de SG	Pesquisa bibliográfica, documental e análise de dados, aplicação do método Delphi
	2	Modelar a avaliação de projetos de SG utilizando métodos multicritério de apoio à tomada de decisão	Preparação para uso do AHP e do MCDA-C, criação de instrumentos de coleta e tratamento de dados
	3	Avaliar o modelo proposto por meio de um estudo de caso	Estudo de caso, entrevistas com especialistas, utilização do AHP e do MCDA-C

QUADRO 1 - PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

FONTE: O autor, 2015

#### 1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Não são discutidos neste trabalho os aspectos tecnológicos relativos ao funcionamento do sistema, nem quais soluções tecnológicas são mais adequadas para cada caso. Quanto ao alcance da análise, é abordada a implementação de redes elétricas inteligentes no domínio da distribuição de energia do ponto de vista da concessionária. Entretanto, esse foco não deve excluir a relação desta com outros agentes do setor ou do mercado.

Ainda dentro da distribuição, a pesquisa focaliza soluções para atendimento a consumidores com fornecimento de energia elétrica em baixa tensão, inferior a 2,3 kV, uma vez que há maior dificuldade em se caracterizar consumidores dessa faixa, e aqueles atendidos em tensões superiores já possuem maiores níveis de automatização e controle de rede (TABORS *et al.*, 2010; DUARTE *et al.*, 2013).

A análise do estudo de caso compreende o estado do Paraná, mais especificamente a região do projeto-piloto de SG desenvolvido pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL, para a avaliação do modelo, que pode ser aplicado de forma mais abrangente. Dessa forma, aborda-se a implementação das SG como uma tecnologia complexa que necessita de modelos estruturados para planejamento

de gestão de seus projetos. Assim, o foco da pesquisa é relacionar as iniciativas de SG com a estratégia das distribuidoras de energia.

### 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma, além desta introdução: o Capítulo 2 prepara conceitualmente o leitor para o tema de dissertação proposto; A metodologia detalhada da pesquisa é apresentada no Capítulo 3; no Capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do trabalho, com seus respectivos resultados; no Capítulo 5 são feitas as considerações finais sobre a pesquisa; e em seguida as referências utilizadas; por fim, encontram-se os apêndices e anexos do trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta o referencial teórico necessário para familiarizar o leitor ao tema apresentado. Como já mencionado, a própria definição do que é uma SG é assunto de estudo dos pesquisadores, sendo, portanto, dedicada uma subseção a esse assunto. Posteriormente, descreve-se como funciona uma rede inteligente hipotética, suas funcionalidades e recursos básicos. São, então, apresentados os modelos existentes para avaliação de projetos de SG, culminando na apresentação da situação destas tecnologias no cenário brasileiro. Ao final do capítulo há uma seção dedicada à explanação dos métodos multicritério de apoio à tomada de decisão utilizados como base para construção do modelo de avaliação proposto nesta dissertação.

### 2.1 DEFINIÇÕES PARA *SMART GRIDS*

Pode-se dizer que os problemas relativos à implantação de tecnologias de SG iniciam-se pela própria definição do que é uma rede elétrica inteligente e do que seria a inteligência dessa rede. Dessa forma, faz-se necessário apresentar uma definição coesa deste conceito (MUENCH *et al.*, 2014). As principais diferenças das SG, comparativamente às redes convencionais, são mostradas no Quadro 2.

Rede convencional	Rede inteligente
Eletromecânica	Digital
Comunicação unidirecional	Comunicação bidirecional
Geração centralizada	Geração distribuída
Hierárquica	Interligada
Poucos sensores	Sensores ao longo de toda rede
Cega	Auto gerida
Reestabelecimento manual	Reestabelecimento automático
Falhas e <i>blackouts</i>	Adaptativa e isolante
Testes e verificações manuais	Testes e verificações remotas
Controle limitado	Controle generalizado
Consumidor passivo sem opções	Consumidor ativo com muitas opções

QUADRO 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS REDES CONVENCIONAL E INTELIGENTE

FONTE: Adaptado de Farhangi, 2010

O Departamento de Energia dos Estados Unidos – DOE afirma que as SG não são uma “coisa”, mas sim um conceito a ser completado e construído de acordo com as necessidades do mercado no qual será implantado, levando em conta aspectos tecnológicos, ambientais, socioeconômicos e político-regulatórios (DOE, 2008). Assim, a definição, e, por conseguinte as estratégias, do que viria a ser uma SG está intrinsicamente ligada à visão regional deste conjunto de topologias e necessidades.

Notadamente, esses aspectos a serem levados em conta para a implementação de SG, bem como as características das redes elétricas, diferem de país a país. A Figura 1 mostra os principais motivadores dessas tecnologias em alguns países, inclusive o Brasil.

Brasil	União Europeia	Estados Unidos	Japão
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação de perdas não técnicas</li> <li>• Melhoria da continuidade</li> <li>• Eficiência energética</li> <li>• Crescimento sustentável</li> <li>• Redução de custos operacionais</li> <li>• Gestão de ativos</li> <li>• Segurança e estabilidade do sistema interligado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inserção de fontes renováveis</li> <li>• Redução de emissões</li> <li>• Eficiência energética</li> <li>• Integração de mercados</li> <li>• Competição (mercado livre)</li> <li>• Novos serviços</li> <li>• Redução de custos operacionais</li> <li>• Gestão de ativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de empregos e avanço industrial</li> <li>• Aumento da competitividade</li> <li>• Redução de custos operacionais</li> <li>• Gestão de ativos</li> <li>• Gerenciamento de desastres naturais</li> <li>• Segurança cibernética</li> <li>• Melhoria da continuidade</li> <li>• Eficiência energética</li> <li>• Integração de carros elétricos e geração distribuída</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inserção de fontes renováveis</li> <li>• Redução de emissões</li> <li>• Geração e armazenamento distribuídos</li> <li>• Carros elétricos</li> <li>• Compartilhamento de infraestrutura</li> <li>• Exportação de tecnologias</li> <li>• Ampliação de mercado</li> <li>• Gerenciamento de desastres naturais</li> <li>• Operação e interligação do sistema</li> </ul>

FIGURA 1 - COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS MOTIVADORES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SG

FONTE: Adaptado de Lamin, 2013

Percebe-se que existem motivadores de diversas naturezas para as SG, alguns mais voltados a benefícios econômicos, outros operacionais e outros, ainda, com foco na sustentabilidade. Há, entretanto, certa unanimidade nos motivadores de países em situações parecidas, como os países em desenvolvimento, Brasil, Índia e

China, por exemplo (FADAEENEJAD *et al.*, 2014), e países europeus, por estarem no mesmo bloco econômico e continente físico (GIGLIOLI *et al.*, 2010).

De tal modo, devido à singularidade de cada caso regional, por tratar-se de um amplo conceito que envolve e sobrepõe várias áreas do conhecimento humano e pelo fato de organizações e autores de países diferentes possuírem visões e motivadores diferentes para as SG, ainda não atingiu-se uma definição única sobre essas redes. Assim, no Quadro 3 são apresentadas definições para as SG elaboradas por órgãos de pesquisa sobre energia elétrica, operadores de sistemas elétricos e organizações privadas que atuam na área.

Organização	Definição para SG
<i>Electric Power Research Institute</i> (EPRI)	É o uso de sensores, comunicações, habilidade computacional e controle a fim de aumentar a funcionalidade do sistema de abastecimento de energia elétrica. Ainda, o órgão acredita que o sistema elétrico evoluirá para um sistema complexo que interconecta redes elétricas, telecomunicações, a <i>internet</i> e aplicações de serviços digitais (EPRI, 2005)
<i>International Electrotechnical Commission</i> (IEC)	“As SG são definidas como o conceito de modernização da rede elétrica. Uma SG deveria integrar as tecnologias elétricas e de informações em qualquer ponto entre geração e consumo, sendo que o termo “ <i>Smart Grid</i> ” deve ser usado mais como um conceito do que uma definição técnica” (IEC, 2010)
Departamento de Energia dos EUA (DOE)	É o próprio sistema de abastecimento elétrico, desde a geração até o consumo, integrado à TIC para obter melhores operações na rede, serviços ao consumidor e benefícios ambientais. As principais funcionalidades de uma SG são: otimizar a utilização dos recursos e a eficiência operacional do sistema, conciliar todas as opções de geração e armazenamento de energia, fornecer energia de qualidade para todas as necessidades em uma economia digital, antecipar e responder a distúrbios no sistema de maneira automática, operar de maneira resistente contra ataques físicos, cibernéticos e desastres naturais, permitir que os consumidores participem ativamente do sistema, habilitar novos produtos, serviços e mercados (DOE, 2008)

QUADRO 3 - COMPILAÇÃO DE DEFINIÇÕES E CONCEITOS PARA SG - continua



Organização	Definição para SG
Grupo ABB	Um sistema evoluído que gere a demanda por eletricidade de maneira sustentável, confiável e econômica, através do uso de infraestrutura avançada e alinhada para facilitar a integração de todos os envolvidos. Suas principais funcionalidades são: adaptativa, menos dependente de operadores, em particular em resposta a rápidas mudanças de suas condições, preditiva, no que concerne à aplicação de dados operacionais a equipamentos, práticas de manutenção e identificação de contingências antes mesmo que elas ocorram, integrada, em termos de funções de controle e comunicação em tempo real, interativa, principalmente entre mercados e consumidores, otimizada para maximizar a confiabilidade, eficiência, disponibilidade e desempenho econômico, segura contra ataques e ocorrências naturais (SHABANZADEH E MOGHADDAM, 2013)
União Europeia ( <i>Directorate-General for Research &amp; Innovation – DGRI</i> ).	Uma rede elétrica que pode, inteligentemente, integrar as ações de todos os conectados a ela (geradores, consumidores e aqueles que fazem as duas coisas), a fim de eficientemente entregar energia de maneira eficiente, econômica e segura, que deveria ser: flexível, ao atender as necessidades dos consumidores ao mesmo tempo que responde às mudanças e dificuldades que aparecerem, acessível, garantindo conexão a todos os usuários da rede, particularmente fontes renováveis de energia e de baixa emissão de carbono, confiável, garantindo e melhorando a segurança e qualidade do atendimento, econômica, proporcionando o melhor valor para a energia através de inovações gestão eficiente da energia e competição e regulação em vários níveis do sistema (DGRI, 2006)
Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD)	É uma combinação e integração complexa de múltiplas tecnologias e sistema digitais ou não, sendo que os principais componentes de uma SG seriam: dispositivos e medidores inteligentes, novos e avançados componentes de rede, tecnologias integradas de comunicações, programas de suporte à decisão, interfaces humanas, sistemas de controle avançados. As características de uma SG são, segundo esse órgão: uso otimizado da energia através de um roteamento mais eficiente da energia gerada, redução da capacidade instalada e aumento da qualidade e segurança da energia gerada, maior monitoramento e controle tanto dos componentes da rede quanto da energia, aquisição de dados e gestão de contingências melhoradas, fluxo de energia e informação em tempo real bidirecional, permitindo a incorporação de fontes sustentáveis de energia, gestão pelo lado da demanda e transações mercadológicas em tempo real, alta automatização da rede, com rápida resposta e auto regeneração da rede, através de uma perfeita integração de todas as interfaces da rede (OECD, 2009)

QUADRO 3 - COMPILAÇÃO DE DEFINIÇÕES E CONCEITOS PARA SG - continuação

Organização	Definição para SG
Ministério de Minas e Energia (MME)	É o uso de elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam a energia. Esses elementos possibilitam o envio de uma gama de dados e informação para os centros de controle, onde eles são tratados, auxiliando na operação e controle do sistema como um todo (MME, 2010)
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)	É a rede elétrica que utiliza tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final, integrando e possibilitando ações por todos os usuários a ela conectados, de modo a fornecer eficientemente uma energia sustentável, econômica e segura (CGEE, 2012)

QUADRO 3 - COMPILAÇÃO DE DEFINIÇÕES E CONCEITOS PARA SG - conclusão

FONTE: O autor, 2015

Compreende-se que não existe uma definição precisa e um escopo globalmente aceito do que a inteligência da rede é. Nota-se que algumas definições tratam as SG como um conceito e não uma série de tecnologias, expandindo que características podem ou não fazer parte deste conceito, bem como seus parâmetros de avaliação. De modo amplo, pode-se dizer que as organizações citadas percebem as SG como sistemas que gerenciam a demanda por eletricidade de maneira sustentável, confiável e econômica, através do uso de infraestrutura avançada e alinhada para facilitar a integração de todos os envolvidos. Compreende-se, também, que o conceito de SG evolui à medida que novas tecnologias e aplicações são implementadas no sistema.

Então, uma definição abrangente sobre as SG é a dada por um relatório norte americano (GELLINGS, 2009):

*“rede inteligente é a utilização de sensores, comunicações, capacidade computacional e controle para aumentar as funcionalidades do sistema de fornecimento de energia elétrica...o que implica em funções que permitem a otimização do uso de geração, transporte, armazenamento, fontes distribuídas e uso final do consumidor em direção a objetivos que garantam confiabilidade, uso mais racional de energia, mitigação de impacto ambiental, gestão de ativos e contenção de gastos”.*

Analisando-se as várias definições apresentadas nesta subseção, todas concordam em pelo menos alguns aspectos principais relativos às SG, a saber (SHABANZADEH E MOGHADDAM, 2013):

- as SG proporcionariam um melhoramento da infraestrutura do sistema de potência (sensores, TIC, capacidade computacional, etc.);

- os benefícios/dificuldades das SG estendem-se para várias entidades diferentes, o que proporcionaria uma maior integração entre diferentes *stakeholders* do sistema;
- as SG viabilizariam novas oportunidades de negócios;
- a implementação das SG traria algum melhoramento da segurança, qualidade, confiabilidade, disponibilidade e eficiência das redes elétricas;
- a redução das emissões de gases do efeito estufa seria proporcionada pelas SG;
- as SG necessitam da instalação de várias tecnologias emergentes;
- a utilização de tecnologias de SG permitiria um melhor controle sobre os recursos e custos das redes elétricas;
- o mercado elétrico tornar-se-ia mais competitivo e aberto com as SG, passando por profundas alterações em seu modelo.

## 2.2 FUNCIONAMENTO DE UMA *SMART GRID*

Como já mencionado, para que se consiga implementar uma SG que atenda a essas premissas e funcionalidades esperadas da rede, diversos *designs*, topologias e possibilidades de tecnologias embarcadas diferentes podem ser adotadas como soluções possíveis. Entretanto, pode-se definir uma estrutura básica de uma *Smart Grid*, representada através de um modelo conceitual (Figura 2).

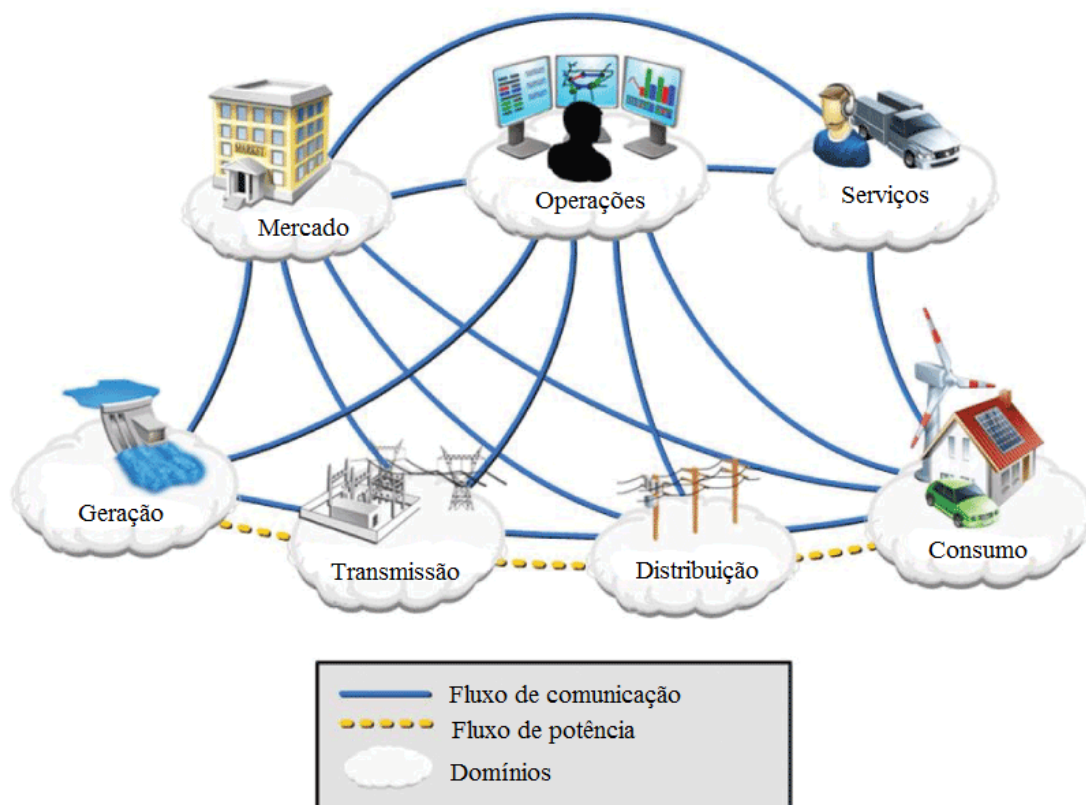


FIGURA 2 - VISÃO GERAL DE UMA *SMART GRID*

FONTE: Adaptado de NIST, 2013

É possível verificar, analisando-se a Figura 2, que uma rede de telecomunicações interliga todos os domínios do sistema elétrico. É através dessa infraestrutura de telecomunicações, controlada por uma central de TIC, que várias das funcionalidades de uma SG seriam alcançadas. Ainda observando a Figura 2, verifica-se que uma SG é formada por vários domínios, que englobam diferentes atores do sistema. O Quadro 4 descreve brevemente cada domínio do sistema elétrico.

Domínio	Descrição
Geração	Relacionado às unidades geradoras de grandes parcelas de eletricidade
Transmissão	Relacionado aos recursos de transporte de eletricidade em longas distâncias
Distribuição	Relacionado aos distribuidores de eletricidade aos consumidores
Consumo	Relacionado aos usuários finais de eletricidade
Mercado	Relacionado aos operadores e participantes do mercado de energia
Operação	Relacionado aos gerenciadores do fluxo de eletricidade
Serviços	Relacionado aos fornecedores de utilidades e serviços aos consumidores finais

QUADRO 4 - DESCRIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA ELÉTRICO

FONTE: Adaptado de CGEE, 2012

No modelo conceitual do *National Institute of Standards and Technology* – NIST, os domínios existentes no sistema são idênticos aos das redes elétricas convencionais. Porém, tanto domínios quanto atores teriam seus papéis alterados quando da implementação das SG. De modo geral os domínios de geração e transmissão já possuem algum nível de automação e adoção de tecnologias inteligentes instaladas atualmente (DUARTE *et al.*, 2013).

Com o advento de um fluxo bidirecional de informações sobre toda a rede, novos serviços e modelos de mercado poderiam surgir. Os domínios que mais teriam suas características alteradas seriam os seguintes (NIST, 2013):

- **mercado:** provavelmente o domínio mais afetado pelo uso das SG, o mercado comunica-se com todos os outros domínios. Sua função passaria de um ambiente centralizado para um ambiente interativo, no qual consumidores, através do domínio de serviços, comunicar-se-iam diretamente com a geração, possibilitando comércio virtual de energia e modelos inovadores de tarifação, por exemplo. A geração distribuída, bem como o uso de veículos elétricos e outras formas de armazenamento de energia pelo lado da demanda, permitiria aos

consumidores tornarem-se vendedores de energia, mais um desafio para a regulação e modelo de mercado das SG;

- **operações:** compreende toda a operação do sistema, seja de caminhões e equipes de manutenção *in situ*, como pessoal especializado de escritório para gerir o grande volume de dados vindo dos equipamentos de TIC conectados à rede. A segurança, confiabilidade e qualidade das comunicações entre todas as dimensões do sistema dependem desta dimensão, sendo que uma das principais mudanças para as operações é que algumas de suas responsabilidades podem migrar do atual ambiente centralizado regulado para um novo agente do setor: operadoras terceirizadas de serviços energéticos, localizadas no domínio de serviços. Porém, novas responsabilidades, como garantir a efetiva comunicação entre agentes até então distantes e incomunicáveis no sistema, passariam a existir;
- **serviços:** compreende operações como cobrança de tarifas, gestão de contas dos consumidores e manutenção do sistema. Nesse domínio, os desafios estão mais ligados à segurança cibernética e física do sistema. É através desse domínio que os consumidores se comunicariam com o mercado, sendo que pode tornar-se um domínio chave para impulsionar a implementação das SG, tendo em vista que novas aplicações poderiam ser ofertadas aos consumidores através desse domínio;
- **distribuição:** abrange a comunicação entre transmissão e consumo. Atualmente é um domínio pouco explorado do ponto de vista de serviços, pois a distribuição é unidirecional e encara os consumidores como meros receptores de energia, com papel passivo no sistema. Com a implantação das SG, este domínio comunicar-se-ia em tempo real com o domínio das operações, o que permitiria uma gestão otimizada dos fluxos de potência associados ao domínio do mercado e um controle mais preciso sobre os recursos da distribuição. Aplicações mais sofisticadas das SG permitiriam inclusive que operadoras terceirizadas de serviços se comunicassem com os consumidores utilizando a infraestrutura da distribuição.

- **consumo:** domínio que inclui qualquer tipo de consumidor, seja industrial, comercial ou residencial. Cada tipo de consumidor possuiria aplicações e funcionalidades diferentes no sistema. Basicamente através de um medidor eletrônico e comunicação com o domínio de serviços, os consumidores passariam a ter um papel ativo no sistema, seja operando também como geradores, através de tecnologias de Geração Distribuída (GD), como painéis fotovoltaicos e geradores eólicos, seja gerindo melhor seu perfil de consumo, optando por melhores condições de uso da energia comprada.

Vale lembrar que a Figura 2 é apenas um modelo conceitual simplificado para entendimento de como funciona uma SG, mas que para interligar cada dimensão é necessária uma série de recursos, tanto financeiros quanto tecnológicos. Por exemplo, a comunicação entre consumo e distribuição pode ser feita através de tecnologias de *Power Line Communication* (PLC), *WiFi*, *Radio MESH*, entre outras. Já entre geração e mercado, por tratar-se de uma área física maior de cobertura, tecnologias como o *General Packet Radio Service* (GPRS) devem ser usadas (DE MELO LEITE *et al.*, 2013).

Dependendo da funcionalidade pretendida, faz-se necessária a combinação de várias tecnologias de comunicação dentro de um mesmo domínio. Por exemplo, o controle automático das linhas de transmissão pode ser feito através de GPRS, mas recomenda-se realizar o monitoramento remoto de isoladores (transmissão) através de PLC (USMAN E SHAMI, 2013). Estes aspectos, entretanto, apenas fazem parte do escopo deste trabalho no âmbito de um planejamento técnico de um projeto, relativo às TIC a serem utilizadas e seus padrões.

Um fluxo bidirecional de potência e informações permitiria a uma indústria gerar energia através de painéis fotovoltaicos e inserir essa energia gerada na rede; mais geração distribuída instalada significaria menores perdas nas linhas de transmissão; consumidores residenciais, ao possuírem maiores informações sobre o seu perfil de consumo energético, poderiam mudar seus hábitos e economizar energia, reduzindo suas contas de eletricidade e o consumo em horários de pico; um maior controle dos recursos, através de mais sensores e TIC, aumentaria a eficiência operacional da rede, facilitando a detecção de falhas, diminuindo o carregamento do

sistema e detectando fraudes no sistema, eliminando perdas não-técnicas; um controle mais preciso sobre a rede diminuiria a necessidade de investimentos em geração e transmissão para atender à demanda, uma vez que as SG proporcionariam uma otimização do uso dos recursos da rede. Esse novo sistema reduziria, ainda, o impacto ambiental causado pelas redes elétricas.

Em visões mais futuristas para as SG, um consumidor poderia comprar energia de qualquer concessionária de distribuição, uma vez que a comunicação com diversos atores do sistema seria possível através das dimensões explicadas anteriormente. O monitoramento e informação sobre os custos reais de venda da energia gerada/transmitida estariam disponíveis em tempo real aos consumidores, possibilitando o surgimento de novos modelos de mercado, sem a existência de monopólios naturais, por exemplo (JOSKOW, 2012).

### 2.3 FUNCIONALIDADES E RECURSOS NECESSÁRIOS DAS *SMART GRIDS*

O início da implementação das SG se dá por meio da substituição dos atuais medidores eletromecânicos de energia por medidores eletrônicos inteligentes. Entretanto, Farhangi (2010; 2014) deixa claro que apenas a instalação em massa de uma infraestrutura de medição avançada (AMI) não é suficiente para categorizar uma rede como inteligente.

Dessa forma, a construção de SG deve ser feita em etapas, com um planejamento integrado que permita que as mudanças na rede atual suportem novas funcionalidades no futuro sem a necessidade de novos investimentos ou transtornos de operação. A Figura 3 relaciona algumas das principais funcionalidades esperadas das redes inteligentes, colocando alguns recursos como base para o desenvolvimento das SG.



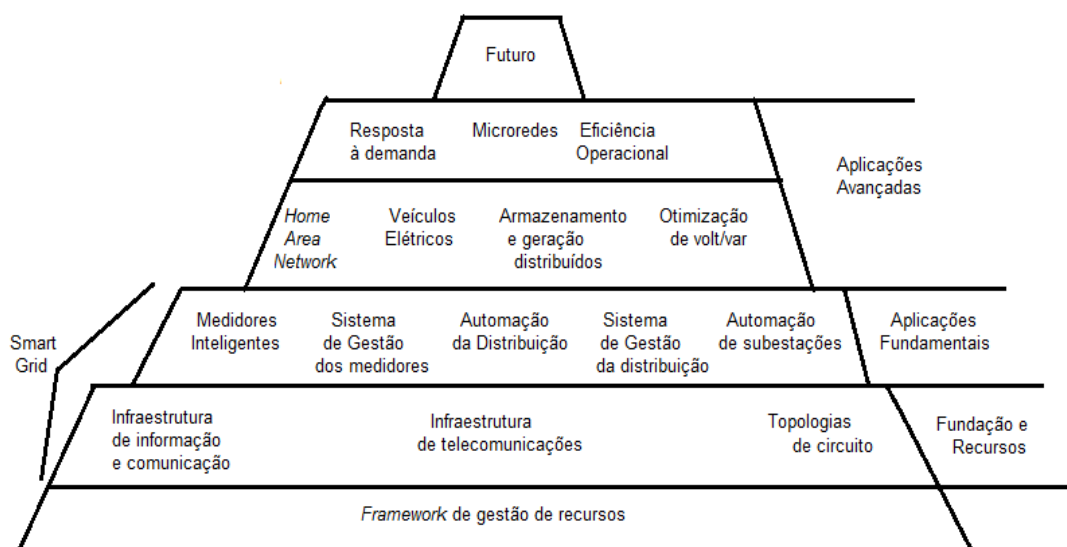


FIGURA 3 - PIRÂMIDE DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

FONTE: adaptado de Farhangi, 2010

Farhangi (2010) explica que há funcionalidades voltadas à distribuidora e outras com foco no consumidor, mas que os blocos relativos aos recursos, na base da pirâmide, dizem respeito a ambos. Como pode ser visto na Figura 4, o retorno esperado dos investimentos é maior quanto mais funcionalidades a rede possuir.

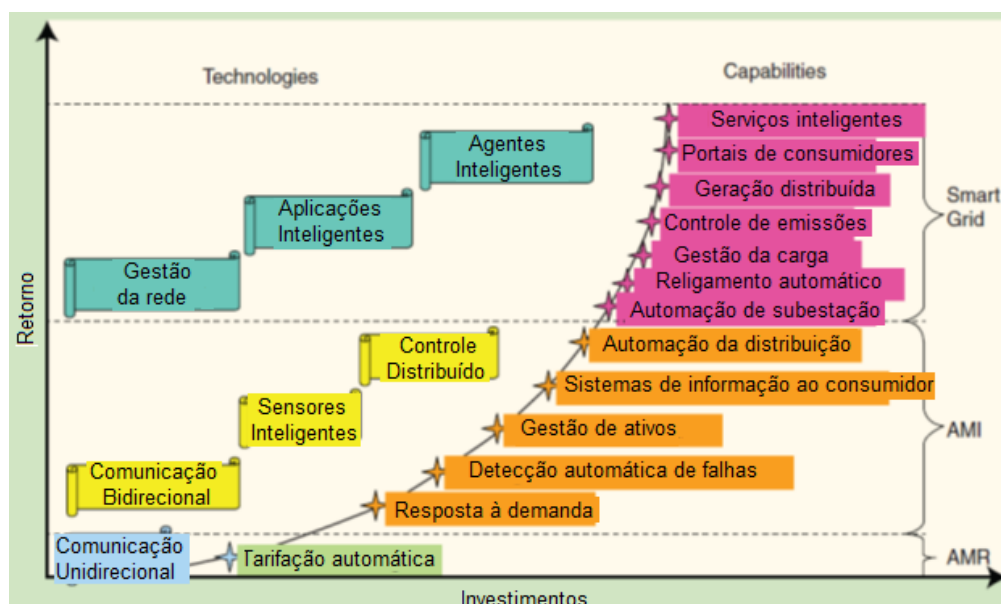


FIGURA 4 - INVESTIMENTO X RETORNO DE FUNCIONALIDADES DE SG

FONTE: adaptado de Farhangi, 2014

Também, nota-se que apenas algumas funcionalidades fundamentais, como medição inteligente e automação da distribuição são suficientes para categorizar uma rede como inteligente. Entretanto, como essa definição não é consenso entre pesquisadores, algumas funcionalidades e recursos necessários das redes elétricas inteligentes são melhor explicados nas próximas subseções. Pode-se dizer que a automação proporcionada pelas SG (medição de parâmetros da rede com atuação por conta própria do sistema, sem a necessidade de intervenção humana), como o caso da auto-cura (*self-healing*), é um dos principais elementos da inteligência da rede.

### 2.3.1 Medição inteligente e *in home display*

Os medidores eletromecânicos atuais não permitem a comunicação entre a distribuidora e o consumidor, sendo apenas um registrador da quantidade de energia consumida em um intervalo longo de tempo, como um mês, por exemplo. Um medidor inteligente é o equipamento que mede a energia elétrica consumida em tempo real e pode comunicar-se com a rede nos dois sentidos, concessionária/consumidor e vice-versa (MOHASSEL *et al.*, 2014).

Dependendo do modelo e do fabricante, um medidor inteligente pode ter funções diferentes. No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, reguladora do sistema, estabeleceu que os medidores a serem instalados pelas distribuidoras devem possuir funções mínimas, como capacidade de leitura das potências ativa e reativa, identificar o posto tarifário, registrar a duração das interrupções de energia, capacidade de comunicação bidirecional (com leituras, suspensão e religamento do fornecimento remotos), disponibilizar as informações ao consumidor através de um visor no próprio medidor ou por dispositivo externo, entre outras (MME, 2010).

Este dispositivo externo para informar ao consumidor informações sobre consumo, tarifas, demandas, etc. é chamado de *in home display* – IHD, ou *Energy Management System*. Sua função é dotar o consumidor de maiores informações, permitindo-o tomar melhores decisões sobre seus hábitos de consumo (LAMIN, 2013). Assim, consumidores poderiam economizar energia pelo lado da demanda e, em larga

escala, diminuir a demanda de pico. A Figura 5 mostra um exemplo de medidor inteligente e um IHD.

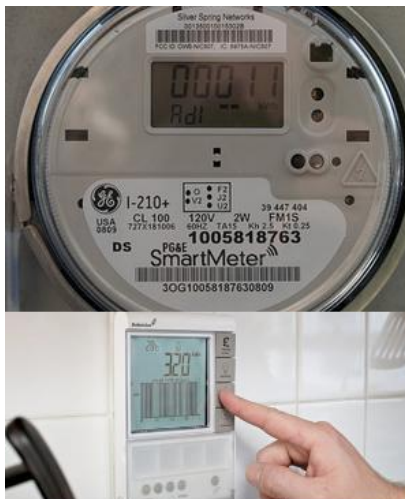


FIGURA 5 - MEDIDOR ELETRÔNICO INTELIGENTE E IHD

FONTE: Google Images, 2015

Entretanto, uma AMI não é formada apenas de medidores inteligentes, mas inclui também uma rede de comunicação em diferentes níveis de hierarquia na infraestrutura, sistemas de gestão dos dados coletados pelos medidores e meios para integrar esses dados em plataformas de *software* e outras interfaces (MOHASSEL *et al.*, 2014), aspectos estes elucidados nas próximas subseções.

### 2.3.2 Infraestrutura de telecomunicação

Depois de instalados, os medidores inteligentes precisam comunicar-se com a distribuidora de alguma forma. Utilizando os sistemas de telecomunicações como meio, é a gestão do sistema que efetivamente transforma a rede em inteligente (LAMIN, 2013). Entretanto, o sistema de comunicação deve ser altamente confiável e capaz de transportar e processar de maneira segura um grande volume de dados.

A topologia mais usual para esse sistema de comunicação é realizar a coleta dos dados de vários medidores através de concentradores de dados locais, e então enviá-los, através de um canal de comunicação, até uma central de operações. Nesta, estariam os servidores, os sistemas de gestão e processamento dos dados e os sistemas de tarifação.

É na central de operações que reside o componente principal da inteligência da rede, recebendo dados da rede (medidores, equipamentos, linhas de distribuição, subestações, etc.) para análise e tratamento, em tempo real, desses dados (MOHASSEL *et al.*, 2014). Ou seja, somente possuir uma infraestrutura avançada de medição não é suficiente para tornar a rede inteligente: deve-se ser capaz de operar satisfatoriamente a rede enquanto processam-se os novos dados gerados e, sob a luz dessas novas informações e funcionalidades, planejar e executar ações que efetivamente deixem o sistema mais eficiente, seguro, funcional e barato, operando de forma mais dinâmica (FARHANGI, 2010).

Para realizar esta integração, várias tecnologias de comunicação com propriedades distintas, como capacidade de transmissão de dados, área de cobertura e transmissão sem fio, etc., estão disponíveis no mercado. Algumas das principais tecnologias para aplicações em SG são listadas a seguir (BHATT *et al.*, 2014): *General Packet Radio Service* – GPRS, *internet*, fibra óptica, *Broadband over Power Line* – BPL, *Power Line Carrier* – PLC, *Asymmetric Digital Subscriber Line* – ADSL, Sistema Global de Comunicações – GSM, *WiMax*, *Bluetooth*, *ZigBee*, satélite, Rádio Frequência (RF) – redes *mesh*, RF ponto a ponto e RF celular.

Naturalmente, cada tecnologia possui aplicações diferentes, normalmente de acordo com a abrangência a ser coberta na cadeia de comunicação. Para ilustrar como estas tecnologias são utilizadas em uma SG, sem levar em conta aspectos de geração e transmissão, mas apenas distribuição, um exemplo de topologia de TIC é apresentado na Figura 6.

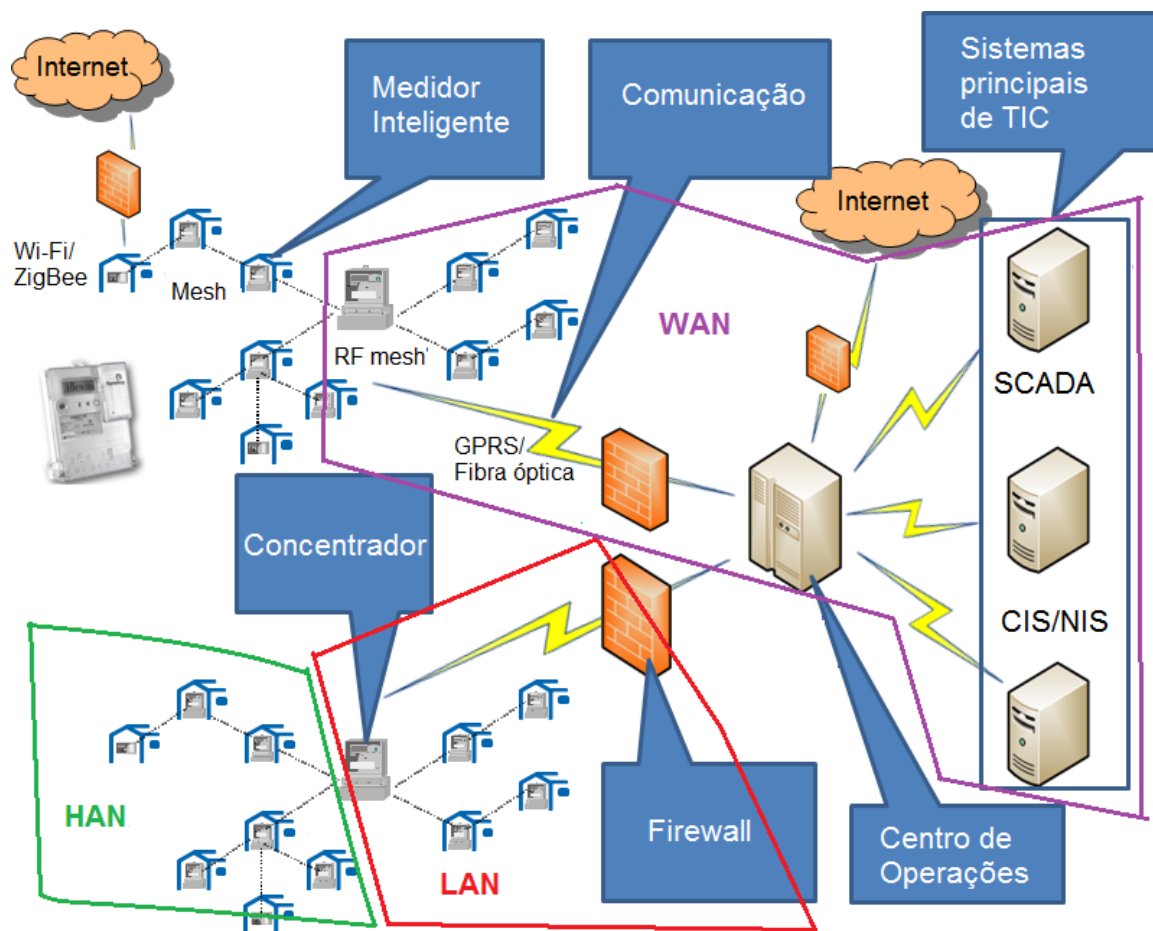


FIGURA 6 - TOPOLOGIA DA INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO

FONTE: Adaptado de Sand *et al.*, 2013

A topologia mostrada na Figura 6 é classificada de acordo com sua abrangência, que contém três principais classificações (MME, 2010; FARHANGI, 2010; LAMIN, 2013; MOHASSEL *et al.*, 2014):

- **Wide Area Network – WAN:** maior área de cobertura, envolve o sistema desde os concentradores até o centro de operações da distribuidora. Às vezes este sistema de comunicação é chamado de *backbone*, e normalmente utiliza tecnologias como o GPRS, GSM, ADSL e satélites. Alguns autores subdividem esta rede WAN, ao incluir um chamado *backhaul* entre os concentradores, a rede *backbone* (centro de operações) e pontos mais amplos, como subestações, utilizando tecnologias como fibra óptica, *WiMax* e *Mesh*. É dentro do escopo desta rede que funcionalidades como automação de subestações e auto regeneração da rede elétrica, por exemplo, seriam possibilitadas;

- **Local Area Network – LAN:** rede intermediária entre o centro de operações e os consumidores finais, compreende os vários medidores de uma região e seus concentradores. Podendo abranger um bairro inteiro, as tecnologias mais favoráveis para tal são o PLC, *ZigBee*, *WiMax*, *RF mesh* e ADSL. A LAN comporta aplicações como detecção e restauração automática de falhas, eliminação de perdas comerciais e otimização do controle de recursos das distribuidoras;
- **Home Area Network – HAN:** as menores redes no quesito área de abrangência, ligam os medidores aos dispositivos internos dos consumidores (residências, comércios e indústrias), sendo que o medidor é o portal de comunicação entre consumidores e distribuidora. Apesar de cobrirem pequenas áreas, é nessas redes que muitas aplicações e funcionalidades das SG prometem atuar, através de tecnologias como *bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee* e PLC. Essa rede é a que possibilita ao consumidor tornar-se ativo no sistema, através de funcionalidades como geração distribuída (solar, eólica, etc.), veículos elétricos e opção por tarifas diversas. Porém, há certo debate sobre o quão pervasiva a distribuidora pode ser além do medidor de energia. Isso implica na operação dessas funcionalidades geridas pelo consumidor de maneira remota pela distribuidora, mas que deve prezar pela segurança física e cibernética do sistema.

Na Figura 6, ainda, há um bloco para os principais sistemas de TIC. Estes comunicam-se com o centro de operações da distribuidora e realizam funções de gestão, processamento e armazenamento dos dados adquiridos, possibilitando aplicações como as *Meter Data Management System – MDMS*, *Consumer Information System – CIS*, sistema de tarifação, planejamento de ativos da companhia, sistema de gestão de faltas, gestão de mão-de-obra móvel (manutenção), sistema de informação geográfica – GIS e gestão das cargas de transformadores.

Para integrar estas tecnologias e fazê-las conversar de maneira rápida, eficiente e segura, são necessários protocolos de comunicação máquina-máquina, além de interfaces homem-máquina adequadas e seguras. Assim, a utilização de

*software* e protocolos comuns e abertos é de suma importância para a viabilidade e operação adequada das SG (ANDREN *et al.*, 2013).

Por fim, as preocupações dessa infraestrutura de telecomunicações e IT não se limitam à escolha do *hardware*, mas também envolvem os programas de análise das redes elétricas, o volume de informação a ser processado, a capacidade do sistema, sua operação ininterrupta, a segurança dos dados, etc. Os autores López *et al.* (2015) frisam a importância em observar, para esta infraestrutura, a qualidade do serviço, a segurança, a privacidade, a interoperabilidade e a escalabilidade do sistema, ou seja, manter os benefícios atingidos enquanto expande-se a SG.

### 2.3.3 Automação

De acordo com o MME (2010), a automação do sistema de transmissão no Brasil, principalmente no que concerne às tecnologias para subestações, já se encontra em estágio avançado. Entretanto, nos sistemas de distribuição a realidade é outra, existindo grandes possibilidades de desenvolvimento de tecnologias e soluções de SG para automação deste sistema (DUARTE *et al.*, 2013).

A possibilidade de, remotamente e sem a influência humana, remanejar cargas, detectar e sanar falhas, reconfigurar circuitos para isolar regiões em contingência e integrar geração distribuída são exemplos de melhorias que a automação na distribuição proporcionaria. Essas melhorias impactariam em uma maior qualidade do serviço, diminuindo, por exemplo, a frequência e duração de interrupções; além de menores custos operacionais do sistema, ao diminuir as horas de trabalho de equipes de manutenção (OMORI, 2012).

Dessa forma, a melhoria na qualidade do serviço, com melhor monitoramento e controle de faltas, que impactam no aumento da vida útil de equipamentos e redução de gastos com manutenção justificam investimentos e esforços em prol da automação nos sistemas de distribuição (LAMIN, 2013).

### 2.3.4 Outras funcionalidades

Analisando-se a Figura 3 (pirâmide das SG), foram comentados até agora os blocos que formam os recursos e funcionalidades básicas das SG. Porém, as

possibilidades de aplicações diversas para redes inteligentes crescem dia após dia (MUENCH *et al.*, 2014). Veículos elétricos, controle de potência reativa, gestão pelo lado da demanda e armazenamento de energia são algumas das funcionalidades não essenciais às SG, mas que tornam atrativa a implementação de suas tecnologias, tanto pelo lado do consumidor quanto da distribuidora.

Segundo os autores Bhatt *et al.* (2014), veículos elétricos, gestão pelo lado da demanda, integração de fontes renováveis de energia e, principalmente, Geração Distribuída (GD) são aplicações críticas para o desenvolvimento das redes elétricas inteligentes. Por razões relativas ao alto custo das tecnologias, a GD e os veículos elétricos ainda não são colocadas como motivadores principais no caso brasileiro (FREIRE *et al.*, 2011).

Além dos altos custos, os riscos envolvidos na conexão de fontes de GD à rede da distribuidora ainda são elevados. Essas questões de confiabilidade e segurança da rede, no caso da GD e dos veículos elétricos, são ainda mais preocupantes em áreas de alta densidade populacional, pois a rede tem menor capacidade de suportar a potência ativa que seria injetada pelas fontes de geração renováveis dos consumidores (EISING, OONA E ALKEMADE, 2014).

Dessa forma, apesar de serem considerados imprescindíveis para o desenvolvimento duradouro das SG, o planejamento, proteção e operação das redes atuais que, no futuro, possuirão grandes volumes de potência sendo gerada por fontes renováveis nos próprios centros de carga ainda é uma dificuldade a ser superada, sendo objeto de estudo ao redor do globo.

Em compensação, os autores pesquisados são unânimes quanto à importância da gestão (gerenciamento) pelo lado da demanda. Advinda do termo em inglês *demand response*, pode ser definida como qualquer modificação no padrão de consumo pelos usuários finais, em resposta a alterações no preço da eletricidade, a incentivos para consumir em horários específicos ou quando a confiabilidade do sistema está prejudicada (TABORS *et al.*, 2010).

Assim, também se percebe unanimidade quanto à necessidade de engajar o consumidor quando da implementação de projetos de SG. A criação de diversos programas de incentivo à mudança de hábitos e de estratégias para que o consumidor esteja ciente e participe das iniciativas SG são apontados como essenciais para que



essas tecnologias se desenvolvam em larga escala (SIOSHANSI, 2010; BELHOMME *et al.*, 2011; DE CASTRO E DUTRA, 2013; LUTHRA *et al.*, 2014).

Contudo, as funcionalidades das SG são possíveis com a instalação e operação das tecnologias de TIC, em topologias e arquiteturas similares às descritas na subseção anterior. Este é um dos maiores desafios para o setor, que precisa validar essas tecnologias e topologias em situações reais, sem deixar de atender à demanda atual, tendo em mente que o planejamento deve ser feito olhando para futuras aplicações e modificações no sistema, como aspectos regulatórios.

Estes representam uma dificuldade a mais para a implementação de SG, pois o tipo de esquema tarifário influencia a decisão sobre os investimentos. Incertezas quanto à regulação das tecnologias, do mercado e da operação do sistema elétrico colocam as distribuidoras e concessionárias em situação desfavorável para realizar grandes investimentos em projetos, sejam pilotos ou não, uma vez que não se sabe se as decisões da agência reguladora inutilizarão esses investimentos (CRISPIM *et al.*, 2014; MARQUES *et al.*, 2014).

## 2.4 MODELOS PARA AVALIAR A IMPLEMENTAÇÃO DE *SMART GRIDS*

No que concerne aos modelos de avaliação de projetos, um modelo global deveria considerar não só aspectos das SG, mas também da rede atual e levar em conta o estágio em que se encontra o setor elétrico (operação, regulação e mercado) e o desenvolvimento das tecnologias de redes inteligentes. O Quadro 5 apresenta resumidamente os 11 modelos mais relevantes encontrados na literatura para avaliar iniciativas de SG, do ponto de vista da sua implementação.

<b>Autores</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Pontos fortes</b>	<b>Pontos fracos</b>
Collier (2010)	Questionário com 10 perguntas qualitativas para avaliação periódica do <i>status</i> e do progresso de projetos de implementação de algumas funcionalidades das SG, sob o ponto de vista empresarial da distribuidora	Simplicidade, ampla abrangência de avaliação	Avaliação apenas qualitativa, não indica ações para atingir objetivos

QUADRO 5 - RESUMO DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO DE SG ENCONTRADOS NA LITERATURA - continua

<b>Autores</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Pontos fortes</b>	<b>Pontos fracos</b>
Arnold <i>et al.</i> (2011)	Avalia o grau de cumprimento dos objetivos pretendidos para um projeto, distinguindo claramente os objetivos de desempenho da rede das medidas para atingi-los. A calibração das medidas de avaliação é feita baseada em projetos já existentes.	Categorização de critérios de avaliação, modelo bastante visual	Alta complexidade, foco na realidade Europeia
McBride e McGee (2012)	Metodologia qualitativa para identificação, avaliação e mitigação de riscos envolvidos na implementação e operação das SG, baseado na metodologia consagrada para segurança de produtos desenvolvida pelo <i>Bell Labs</i>	Simplicidade	Baixa abrangência de avaliação
Giordano <i>et al.</i> (2012)	Metodologia estruturada e diretrizes para avaliação de custos e benefícios (ACB) advindos da implementação de algumas tecnologias e funcionalidades de SG. Outros aspectos, como benefícios sociais e a estratégia das distribuidoras, são contemplados de maneira superficial, sendo o foco a avaliação econômica de projetos	Exemplos de aplicação, simplicidade	Foco na realidade Europeia
SG Coordination Group (2012)	Mapeamento de informações de casos reais para fornecer uma abordagem estruturada para o desenvolvimento de arquiteturas de SG. Proposição de conceitos e pontos de vista para implementação de SG	Ampla abrangência de avaliação, indica ações para atingir objetivos	Alta complexidade, foco na realidade Europeia
Duarte <i>et al.</i> (2013)	Metodologia que permite avaliar custos e benefícios, por meio de previsão por cenários, a implementação de algumas funcionalidades de SG. A metodologia possibilitaria a elaboração de <i>roadmaps</i> de acordo com características das distribuidoras, baseando-se em benefícios sociais	Adaptado à realidade brasileira, indica ações para atingir objetivos	Baixa abrangência de avaliação
Luthra <i>et al.</i> (2014)	Modelo que identifica, hierarquiza e relaciona os principais obstáculos para implementação de SG, através de dois principais instrumentos: o <i>Interpretative Structural Modeling</i> (ISM) e a <i>Matrice d'Impacts Croises-Multiplication Appliquée na Classment</i> (MICMAC)	Robustez no método de avaliação, indica ações para alcançar objetivos	Baixa abrangência de avaliação
Galo <i>et al.</i> (2014)	Baseado no método Delphi, os autores apresentam uma metodologia para identificar e selecionar em quais redes elétricas é mais interessante implementar tecnologias de SG	Ampla abrangência de avaliação	Não indica ações para atingir objetivos
Personal <i>et al.</i> (2014)	Metodologia de avaliação do sucesso de projetos de SG baseada em <i>business intelligence</i> . Modelo de avaliação de desempenho que conta com uma estrutura de <i>Key Performance Indicators</i> – KPIs de quatro níveis hierárquicos	Ampla abrangência de avaliação, robustez no método de avaliação	Foco na realidade Europeia, não mostra detalhes das ferramentas usadas na avaliação
Balducci <i>et al.</i> (2014)	Modelo baseado em motivadores estratégicos amplos para avaliar o desempenho das redes elétricas inteligentes através de métricas pré-definidas para cada motivador estratégico.	Ampla abrangência de avaliação, indica ações para atingir objetivos	Foco na realidade estadunidense, avaliação apenas qualitativa

QUADRO 5 - RESUMO DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO DE SG ENCONTRADOS NA LITERATURA – continuação

<b>Autores</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Pontos fortes</b>	<b>Pontos fracos</b>
Coppo <i>et al.</i> (2015)	Modelo desenvolvido para avaliar e selecionar que projetos-piloto de soluções em SG deveriam receber auxílio e incentivo do governo. O intuito principal do modelo é definir bases regulatórias baseadas na identificação de indicadores adequados de avaliação de performance de novos projetos de SG, a fim de estabelecer recompensas ou penalidades às distribuidoras	Ampla abrangência de avaliação, categorização de critérios de avaliação	Foco na realidade Italiana, avalia apenas projetos-piloto

QUADRO 5 - RESUMO DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO DE SG ENCONTRADOS NA LITERATURA - conclusão

FONTE: O autor, 2015

## 2.5 AS SMART GRIDS NO CONTEXTO NACIONAL

Considerado como líder de mercado de redes elétricas inteligentes na América Latina, espera-se que o país torne-se um dos maiores mercados mundiais dessas tecnologias nos próximos 5 anos (FADAEENEJAD *et al.*, 2014). Recentemente, o setor elétrico passou por uma reforma em sua estrutura, principalmente quanto aos órgãos envolvidos e ao sistema tarifário. Entretanto, essas alterações não contemplaram as possíveis mudanças advindas com a implementação de SG.

Ainda, dentro deste novo modelo do setor, foram criados e reestruturados alguns órgãos, como o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre outros. Esses órgãos governamentais, entretanto, são apenas alguns dos agentes envolvidos na implementação e operação de SG, representando o *stakeholder* do governo e regulação. O envolvimento destes e de outros agentes no processo de desenvolvimento de redes elétricas inteligentes no caso brasileiro é mais complexo, como mostrado na Figura 7.

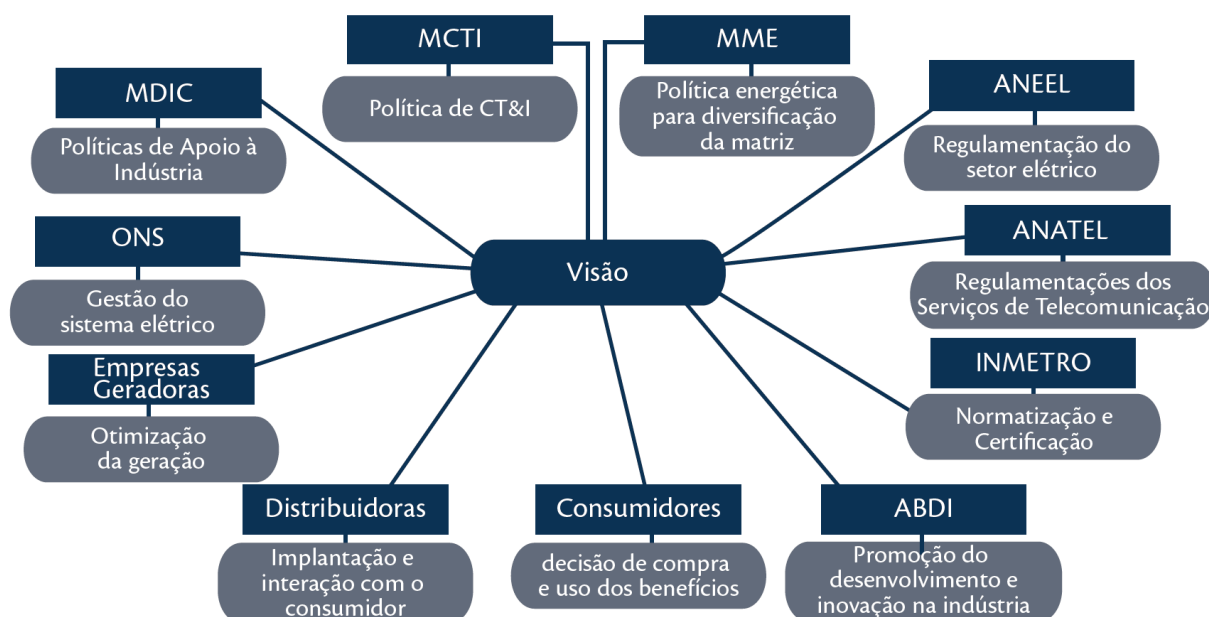


FIGURA 7 - AGENTES ENVOLVIDOS NO DESENVOLVIMENTO DE SG NO BRASIL

FONTE: CGEE, 2012

No centro da Figura 7 está a visão regional para as SG. Tendo em vista que as SG apresentam-se como soluções para o setor elétrico de uma forma geral, essa visão alia características da rede atual e necessidades do setor. Como características que integram a visão brasileira para SG, podem-se citar: usinas de geração espalhadas com despacho centralizado pelo ONS, matriz energética de maioria hídrica (ARRUDA E OLIVEIRA, 2013) grande porcentagem de redes aéreas em cidades, sujeitas à intempéries naturais, altos volumes de perdas comerciais, mercado da distribuição pouco competitivo, presença de monopólios naturais e regulação centralizada e pervasiva (CGEE, 2012).

Quanto às necessidades do setor, a EPE prospecta que haja um crescimento de 59% na demanda elétrica de 2012 a 2022 (EPE, 2012). Para atender com qualidade a essa crescente demanda, as soluções e arquiteturas tradicionais do sistema vem se provando insuficientes, pois investimentos em capacidade instalada (geração) compensam cada vez menos, e os custos de operação do sistema atual aumentam ano após ano.

Dessa forma, as SG no Brasil possuem os seguintes principais motivadores (CGEE, 2012):

- reduzir as perdas técnicas e comerciais (fraudes);

- melhorar a qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras;
- reduzir os custos operacionais;
- melhorar o planejamento da expansão da rede;
- melhorar a gestão dos ativos;
- promover a eficiência energética;
- fomentar a inovação e a indústria tecnológica.

Nota-se que apenas o último motivador não diz respeito às necessidades do setor elétrico, englobando também aspectos de mercado. Entretanto, mesmo aqueles com foco em necessidades do setor envolvem aspectos de outras áreas, como a corporativa, política, social, regulatória, etc.

Motivados pelas razões apresentadas anteriormente, concessionárias e distribuidoras estão desde 2010 pesquisando conceitos de SG, e algumas já apresentam iniciativas, normalmente sob a forma de projetos-piloto, para desenvolver efetivamente as redes elétricas inteligentes (PICA *et al.* 2011), apresentados a seguir.

### 2.5.1 Principais projetos brasileiros

As iniciativas de SG no Brasil são, em sua maioria, projetos piloto ou de demonstração, com intuito principal de testar tecnologias de medidores inteligentes e tecnologias de telecomunicação. O portal Redes Inteligentes Brasil (RIBR, 2015) apresenta brevemente os principais projetos em desenvolvimento atualmente no país e no mundo, sendo os brasileiros dispostos no Quadro 6.

Projeto	Distribuidora/Município do projeto	Principal objetivo	Nº de consumidores
<b>Cidades do Futuro</b>	CEMIG/Sete Lagoas, Baldim, Funilândia, Jequitibá, Prudente de Moraes, Santana do Pirapama e Santana do Riacho	Avaliar aspectos regulatórios, socioeconômicos, financeiros e de percepção dos clientes	8.000
<b>Cidade Inteligente Búzios</b>	Ampla/Armação dos Búzios	Demonstrar a aplicabilidade dos principais conceitos e tecnologias de SG em um cenário urbano	10.000

QUADRO 6 - PRINCIPAIS PROJETOS DE SG NACIONAIS - continua

<b>Projeto</b>	<b>Distribuidora/Município do projeto</b>	<b>Principal objetivo</b>	<b>Nº de consumidores</b>
<b>Projeto Smart Grid Light</b>	Light/Rio de Janeiro	Testar e validar uma implementação de larga escala de tecnologias de SG	400.000
<b>Programa Smart Grid</b>	AES Eletropaulo/Barueri, Vargem Grande Caucaia do Alto	Criar um modelo de implementação replicável em toda a área de concessão da distribuidora	84.000
<b>InovCity</b>	EDP Bandeirante/Aparecida	Desenvolver projeto-piloto de SG que contemple mobilidade elétrica, geração distribuída, iluminação pública eficiente, eficiência energética, automação da rede e medição inteligente	35.000
<b>Cidade Inteligente Aquiraz</b>	Coelce e Endesa/Fortaleza	Desenvolver um projeto-piloto de SG com foco na automação do sistema elétrico	19.177
<b>Paraná Smart Grid</b>	COPEL/Curitiba	Realizar aplicações de elementos de SG na distribuição de energia em área de alta densidade e visibilidade de cargas, para testes de conceito e antecipação de aplicações futuras	10.000
<b>Smart Grid Fernando de Noronha</b>	CELPE/Fernando de Noronha	Desenvolver e testar conceitos de SG em localidade piloto, com severas restrições ambientais e utilização de sistemas isolados	847

QUADRO 6 - PRINCIPAIS PROJETOS DE SG NACIONAIS - conclusão

FONTE: Adaptado de RIBR, 2015

O Quadro 6 mostra que o escopo dos projetos no Brasil, tanto sob o ponto de vista da abrangência quanto dos objetivos das SG, varia bastante. Apesar de em alguns projetos o número de consumidores atendidos ser significativo, o principal intuito das distribuidoras neste momento é testar e validar o funcionamento das redes inteligentes, sob os mais variados aspectos.

Ainda existe expressiva incerteza quanto aos rumos que o setor pode tomar, principalmente no que diz respeito à regulação das SG no Brasil e quem deve arcar com os investimentos necessários para que ocorra uma efetiva transição de tecnologias e operação no sistema. De qualquer forma, o estudo e adequada avaliação destas iniciativas, mapeando e documentando lições aprendidas com elas, é um passo importante na etapa de planejamento da mudança que está por vir nos sistemas elétricos ao redor do globo.

## 2.6 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Decisões são tomadas diariamente pelas pessoas, nas mais variadas situações e com inúmeros objetivos finais. Nesta dissertação, a tomada de decisão é definida como um processo orientado à solução de problemas que culmina com a seleção de uma possibilidade ou curso de ação entre várias alternativas possíveis (KAHNEMAN E TVERSKY, 2000).

Este processo, pelo qual se espera que a alternativa escolhida seja satisfatória para solucionar o problema em questão, pode ser feito de maneira estruturada ou não, ser lógico ou não, utilizar tanto conhecimento tácito quanto explícito e envolver o fator humano. Na maioria dos casos, um conjunto finito de alternativas, descritas por um outro conjunto finito de critérios de avaliação, é estudado por um ou mais especialistas (decisores) (TRIANAPHYLLOU, 2000).

Existem vários métodos utilizados para realizar este estudo de alternativas e critérios, denominados de *multi-criteria decision making methods*, ou métodos multicritério de apoio à tomada de decisão. Os métodos variam de acordo com o objetivo do processo de tomada de decisão. Estes podem envolver determinar o quão atrativa é uma alternativa para o decisor, quando os critérios que a definem são avaliados simultaneamente, ou hierarquizar uma série de critérios, por exemplo (KEPNER E TREGOE, 1997).

As dificuldades envolvidas neste processo e no uso dos métodos estão na quantidade de informação necessária para analisar os critérios e optar por uma alternativa, na modelagem adequada do problema ao método (ou métodos) a ser utilizado, em tendências pessoais e cognitivas durante a avaliação, no fenômeno do *overthinking* ou *analysis paralysis*, no qual os decisores pensam demais sobre os critérios e alternativas e não são assertivos quanto a qual decisão tomar, entre outras (KAHNEMAN E TVERSKY, 2000).

Neste trabalho, três métodos de apoio à tomada de decisão são utilizados para abordar o problema de como avaliar projetos de implementação de SG. Assim como muitos projetos de engenharia que envolvam inovações tecnológicas, projetos de SG possuem características para as quais a abordagem da ciência e dos métodos de apoio à tomada de decisão é recomendada, como, mas não somente, as descritas a seguir:

- diversos agentes envolvidos, com interesses conflitantes;
- grande quantidade de critérios a serem avaliados;
- falta de consenso quanto aos principais fatores de sucesso do projeto;
- falta de consenso quanto ao nível de análise dos parâmetros de projeto;
- dificuldade em definir responsabilidades para agentes do setor;
- envolvimento de critérios objetivos e subjetivos de avaliação;
- situação de decisão classificada como complexa e cujo problema é classificado como mal estruturado (muitas visões para o que seja a inteligência da rede).

Uma das vantagens da abordagem por meio desses métodos é a transformação de avaliações qualitativas em valores numéricos, permitindo análises matemáticas de convergência de opiniões, sensibilidade de parâmetros, normalização de critérios com unidades diferentes, além de não negligenciar aspectos objetivos nem subjetivos. As próximas subseções formam uma revisão conceitual dos três métodos multicritério de apoio à tomada de decisão utilizados neste trabalho, esclarecendo em que situações cada um é mais adequado e como enquadram-se no contexto das SG.

#### 2.6.1 Método Delphi

Este método, cujo nome tem origem no oráculo grego de Delfos, é indicado como instrumento de pesquisa quando ainda não se possui conhecimento amplo e abrangente sobre um problema ou fenômeno (DE CARLI, DELAMARO E SALOMON, 2010), neste caso, a avaliação de projetos de SG. Por tratar-se de “um processo iterativo, que coleta e refina julgamentos anônimos de especialistas usando questionários e técnicas de análise integrados com *feedback*” (SKULMOSKI, HARTMAN E KRAHN, 2007), o Delphi é recomendado para a tomada de decisão em grupo.

No método Delphi para apoio à tomada de decisão, as perguntas de um questionário normalmente são respondidas em uma escala de 1 a 5, de acordo com a importância do parâmetro que se está avaliando. Os passos do método são os seguintes:



1. o pesquisador envia o questionário aos especialistas para que respondam às perguntas e devolvam ao pesquisador;
2. as respostas de todos os especialistas são analisadas e agrupadas;
3. caso não se obtenha consenso nas respostas, um novo questionário é enviado aos especialistas, agora com os resultados gerais, para que conheçam as opiniões dos demais e possam rever alguma opinião dada, caso discordante da maioria;
4. após um segundo recebimento dos questionários pelo pesquisador, uma nova análise é realizada e, se houver consenso ou for atingido um nível satisfatório de informações o processo é encerrado. Caso contrário, repete-se o passo 3.

Para determinar se houve ou não consenso após uma rodada de aplicação do Delphi, utiliza-se a Equação 1 (WILSON, PAN, SCHUMSKY, 2012):

$$CVR = \frac{NE - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (1)$$

Onde:

- CVR – *Content Validity Ratio* (razão de validade de conteúdo);
- NE – número de especialistas que indicam que um parâmetro é essencial;
- N – número total de especialistas participantes da pesquisa.

Se o CVR for maior ou igual 0,29 diz-se que houve consenso, e as rodadas do método são interrompidas. Não se estipula um número mínimo necessário de especialistas para validar a aplicação do método, porém frisa-se a importância de se selecionar cautelosamente o grupo de pessoas que participará da pesquisa, muitas vezes denominado de “painel Delphi de especialistas” (KIM, JANG, LEE, 2013).

Nesta dissertação, o Delphi é utilizado para confirmação dos parâmetros que compõem o modelo de avaliação proposto, pré-selecionados da literatura. Esta confirmação pode ser feita para validar parâmetros individuais, de acordo com sua

importância para o problema estudado, ou a fim de validar um conjunto de parâmetros, sua classificação ou hierarquia (VIDAL, MARLE E BOCQUET, 2011).

### 2.6.2 Método do *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Desenvolvido por Saaty em meados dos anos 70, o AHP tem sido usado e refinado desde então, com diversas possibilidades de aplicação. Trata-se de um método de apoio à tomada de decisão cuja ideia central é estudar sistemas complexos através de comparações pareadas (par a par) dos parâmetros que influenciam o sistema (SAATY, 1991).

Ao invés de apontar para uma solução ótima, o AHP auxilia os tomadores de decisão a encontrar soluções que melhor se adequem aos seus objetivos pré-definidos, através da estruturação do problema de forma abrangente e hierárquica, que conta com a definição de um objetivo, meios para quantificar elementos, relacionar esses elementos ao objetivo geral e avaliar soluções alternativas (COSTA E MOLL, 1999).

Forman e Saul (2001) colocam que o AHP é indicado para auxiliar na tomada de decisões em situações como:

- escolha de alternativas, principalmente quando existem muitos critérios de decisão;
- hierarquização de alternativas;
- priorização, no sentido de determinar o mérito relativo entre elementos candidatos;
- alocação de recursos;
- gestão da qualidade;
- *benchmarking* entre organizações;
- solução de conflitos.

A escolha do AHP neste trabalho justifica-se por ser indicado para problemas complexos que envolvem julgamentos e percepções humanas, possuindo vantagens sobre outros métodos quando elementos para a tomada de decisão são difíceis de se quantificar ou comparar e quando a comunicação entre os avaliadores é dificultada devido às suas perspectivas, terminologias e especializações. Justifica-se, também,

por trata-se de um método altamente difundido, com aplicações e resultados validados, além de ser um método multicritério de apoio à tomada de decisão simples e eficaz (BHUSHAN E KANWAL, 2004).

A construção do modelo baseada no método AHP busca contemplar a grande abrangência dos parâmetros necessários para se avaliar e selecionar projetos de SG, conciliando a avaliação de parâmetros diferentes de maneira racional e lógica (SAATY, 2008), aspecto inerente a qualquer projeto de SG. Assim, além da sua principal aplicação, de seleção de alternativas, dentro das aplicações “hierarquização” e “priorização” o AHP pode ser utilizado como ferramenta para seleção de indicadores de desempenho (SANTANA, 2004).

Em linhas gerais, o método fornece valores numéricos que representam a habilidade de uma alternativa em atingir o objetivo geral proposto e a importância de um critério para o objetivo. No contexto deste trabalho, a utilização do AHP como parte integrante do modelo de avaliação auxilia na determinação de quais alternativas são mais indicadas para nortear um projeto SG em dada área de abrangência. Também, sabendo-se quais alternativas são mais importantes para atingir os objetivos do projeto, determinam-se quais fatores de implementação são mais relevantes para atender às alternativas escolhidas.

Para a construção do AHP e sua efetiva adequação ao propósito desta pesquisa, as seguintes etapas do método são levadas em conta (COSTA E MOLL, 1999; SAATY, 2008):

- i. definição do objeto de estudo e caracterização das condicionantes gerais. O objeto de estudo é o tema definido na Seção 1 deste trabalho, a implementação e avaliação de projetos de SG;
- ii. especificação do objetivo geral que se espera atingir. Alinhado com o objetivo geral do trabalho, utiliza-se o método do AHP como parte integrante do modelo para avaliação de projetos de SG, em uma certa área de abrangência;
- iii. identificação do conjunto de alternativas viáveis para a escolha. No caso desta dissertação, os motivadores estratégicos das SG apresentam-se como alternativas que podem mudar de prioridade, de acordo com a área de abrangência pretendida para implementação de SG;

- iv. identificação do conjunto de critérios e construção da hierarquia. Estes critérios são os fatores chave para implementação de qualquer projeto de SG, portanto, imutáveis;
- v. seleção dos avaliadores para a análise do desempenho das alternativas em relação aos critérios selecionados, e destes em relação ao objetivo geral;
- vi. definição dos instrumentos de coleta de dados para obtenção dos julgamentos de valor. Trata-se da elaboração de questionários e formulários próprios para integrar o modelo de avaliação de SG. Estes instrumentos fazem parte do modelo proposto neste trabalho, e podem ser utilizados para avaliar qualquer projeto, apenas alterando-se as informações relativas a ele, e, por conseguinte, qual área de abrangência se está avaliando;
- vii. emissão dos julgamentos de valor a partir de comparações par a par. Baseado na importância de cada critério (fator chave de implementação) e na influência de cada alternativa (motivador estratégico) para o objetivo geral. A importância dos critérios e o desempenho das alternativas servem como base para a distribuidora decidir se o projeto está alinhado com sua estratégia e quais fatores são mais relevantes para o projeto em questão. Assim, a avaliação é feita sob duas abordagens:
  - a. avalia-se o quanto cada motivador é importante para o desempenho do projeto;
  - b. avalia-se o quanto cada fator de implementação influencia os motivadores estratégicos.
- viii. síntese dos dados e análise da consistência dos julgamentos, calculando-se a prioridade de cada alternativa em relação ao objetivo geral. É esta etapa que, em caso de consistência aceitável, compila os dados coletados com especialistas para apontar a melhor alternativa para o projeto sendo avaliado e prioriza os fatores chave de implementação do projeto;
- ix. análise final dos resultados, incluindo análise de sensibilidade a variações nos julgamentos.

Com relação às etapas vi e vii, faz-se necessária a elaboração de um instrumento para coleta e emissão dos julgamentos de valor. Normalmente estes instrumentos apresentam-se na forma de questionários ou formulários, e devem ser respondidos de acordo com a escala mostrada no Quadro 7, a seguir.

<b>Intensidade da importância</b>	<b>Definição</b>
1 – mínima	Importância irrelevante do parâmetro
3 – fraca	Importância pequena do parâmetro
5 – moderada	Importância essencial do parâmetro
7 – forte	Importância muito grande ou demonstrada do parâmetro
9 – absoluta	Importância total do parâmetro

QUADRO 7 - ESCALA PARA JULGAMENTOS DE VALOR NO AHP

FONTE: Adaptado de Saaty, 1991

Um exemplo de como pode ser estruturada a hierarquia dos parâmetros do método é mostrada na Figura 8. Neste exemplo, o formulário para coleta de dados conteria perguntas como: “qual a importância do compartilhamento de conhecimentos para a infraestrutura de P&D?”, ou “qual a influência da utilização dos custos/benefícios da infraestrutura de P&D para laboratórios próprios?”.

Posteriormente, calculam-se as matrizes de comparação paritárias, para cada um dos níveis da hierarquia, dividindo-se o valor obtido pela média geométrica de uma questão do instrumento de coleta de dados por outra.

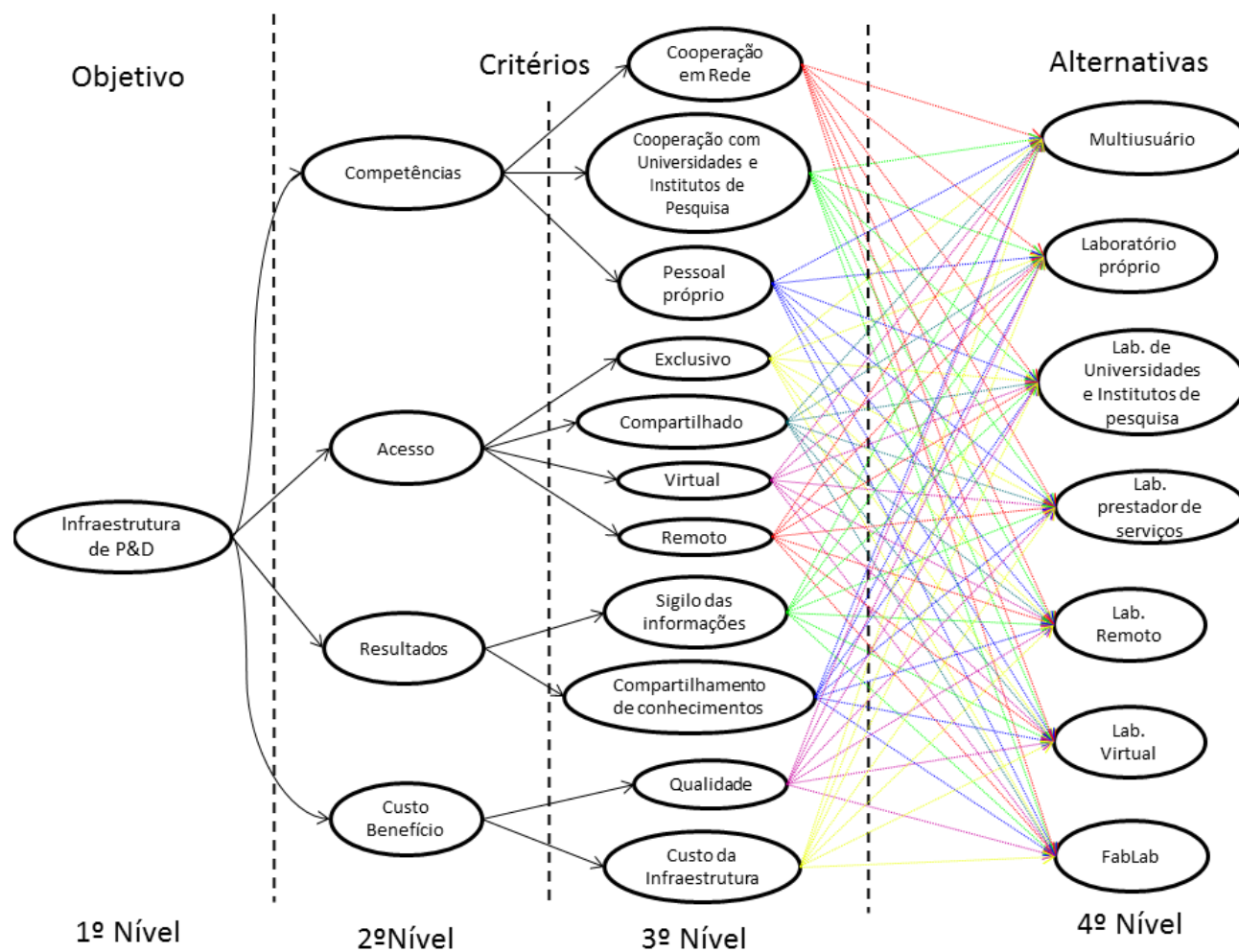


FIGURA 8 - EXEMPLO DE HIERARQUIA PARA APLICAÇÃO DO AHP

FONTE: Lima, 2013

Para um melhor entendimento do procedimento de construção e preenchimento das matrizes paritárias, pode-se utilizar o exemplo de uma pessoa cujo objetivo é adquirir um carro. Supondo apenas dois critérios, o instrumento de coleta de dados perguntaria ao entrevistado qual a importância da relação custo/benefício para a aquisição do carro e qual a importância da cor do veículo para a aquisição. A pessoa poderia responder “absoluta = 9” e “fraca = 3”, respectivamente. Assim, a matriz de comparação paritária seria como a apresentada na Equação 2.

$$\begin{array}{cc} \text{custo/custo} & \text{custo/cor} \\ \text{cor/custo} & \text{cor/cor} \end{array} = \begin{array}{cc} 9/9 & 9/3 \\ 3/9 & 3/3 \end{array} \quad (2)$$

Este mesmo procedimento deve ser realizado para cada critério e alternativa selecionado, com a diferença que para as alternativas é construída uma matriz para comparação com cada critério. Os critérios possuem apenas uma matriz de comparação entre si, de acordo com sua importância para o objetivo.

A priorização das alternativas e critérios no método do AHP é feita calculando-se os autovalores e autovetores das matrizes de comparação. Para este cálculo, entretanto, não são utilizados métodos algébricos, mas sim numéricos, sendo o método das potências o mais simples para se obter o máximo autovalor e seu autovetor associado. Nesta dissertação, o método das potências é executado elevando-se as matrizes de comparação a uma potência e multiplicando-as por um vetor coluna unitário. Posteriormente normalizam-se os vetores resultantes pela norma do máximo. Essa operação iterativa satisfaz a propriedade de que, se multiplicar-se uma matriz por um de seus autovetores, encontra-se um múltiplo do próprio autovetor, com constante de multiplicidade conhecida por autovalor. Como o autovetor foi pré-multiplicado pela matriz, é conhecido como autovetor direito (GOLANY E KRESS, 1993). Este autovetor direito é o autovetor associado ao maior autovalor de uma matriz, normalizado.

Após o cálculo dos autovetores e autovalores das matrizes, que representam os pesos dos parâmetros, multiplicam-se os pesos das matrizes do nível mais baixo pelo peso correspondente ao nível superior. Este resultado fornece o peso relativo de cada parâmetro para o objetivo geral.

A etapa viii, de síntese dos dados, conta com a determinação da consistência das opiniões dos especialistas. De acordo com Lima (2013), os procedimentos para o cálculo da Razão de Consistência (RC) e do Índice de Consistência (IC) baseiam-se nas propriedades das matrizes de comparação paritárias, a saber:

- para cada linha da matriz de comparação, determina-se a soma ponderada, com base na soma do produto de cada valor da mesma pela prioridade da alternativa correspondente;
- os resultados obtidos são divididos pelos vetores de prioridades da respectiva matriz;
- faz-se uma média dos resultados de cada linha, obtendo  $\lambda_{\text{máx}}$ , que é o autovalor máximo da matriz;
- o Índice de Consistência (IC) é, então, calculado através da Equação 3,

$$IC = (\lambda_{\text{max}} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

onde  $\lambda_{\text{máx}}$  é o autovalor máximo da matriz de comparações paritárias e  $n$  é o número de critérios avaliados;

- dividindo-se o IC por um Índice Randômico (IR), que trata-se de um valor tabelado encontrado em Saaty (1991; 2008), uma constante cujo valor dependerá da dimensão da matriz que se está analisando, obtém-se a Relação de Consistência (RC);
- do ponto de vista do AHP, é desejável que a RC de qualquer matriz de comparação seja menor ou igual a 0,10.

Por fim, na etapa ix, a sensibilidade dos julgamentos é calculada utilizando-se o método proposto por Triantaphyllou e Sánchez (1997), que a partir dos autovetores de prioridade final entre alternativas, entre critérios e entre critérios x alternativas, constrói-se uma tabela de sensibilidade dos parâmetros, de acordo com a Equação 4,

$$\delta_{ij} = \frac{a_j - a_i}{m_{jk} - m_{ik}}, \forall k \quad (4)$$

onde:

- $\delta_{ij}$  – diferença mínima na prioridade;
- $k$  – número de critérios;



- $a_{ij}$  – prioridade final entre alternativas;
- $m_{ijk}$  – prioridade final entre critérios x alternativas.

O cálculo do  $\delta_{ij}$  determina qual a probabilidade de que uma mudança no peso atribuído ao critério  $k$  inverta a ordem das alternativas  $a_{ij}$ . Compara-se, então, o valor do  $\delta_{kij}$  com o a prioridade final do critério  $k$ , para um mesmo  $k$ . Assim, estes valores representam qual dos critérios é mais sensível a variações na emissão dos julgamentos de valor pelos entrevistados. Trata-se de uma proporção entre os critérios, e não um valor limite (TRIANANTAPHYLLOU E SÁNCHEZ, 1997).

Portanto, nesta dissertação, o AHP é utilizado como parte integrante do modelo de avaliação proposto, para selecionar qual motivador estratégico é mais relevante para o projeto sendo avaliado e quais fatores chave de sucesso mais influenciam nesta alternativa.

### 2.6.3 Método do *Multicriteria Decision Aid Constructive Approach* (MCDA-C)

Assim como os outros métodos apresentados anteriormente, o MCDA-C também é voltado para a solução de problemas. Entretanto, ele é recomendado para casos em que o problema surge como uma situação desconhecida, ou resulta de uma situação em que se percebe a necessidade de intervir e solucioná-lo, mas não necessariamente se está seguro de como fazê-lo. Também, reconhece-se o fato de que há várias ferramentas adequadas para tomar decisões a respeito deste problema, e que não existe apenas uma única solução ou curso de ação para abordá-lo (LANDRY, 1995; BANA E COSTA, 1995).

Dessa forma, o principal intuito do MCDA-C é gerar conhecimento de forma organizada e lógica, assistida por um facilitador (pesquisador) em conjunto com os decisores (“donos” do problema – gestores de projetos de SG), levando em conta aspectos subjetivos e objetivos do problema. Assim, o MCDA-C se propõe a modelar um determinado problema em conjunto com os envolvidos no processo, sendo que as decisões tomadas a partir desse novo modelo serão baseadas no que se acredita ser a mais adequada àquela situação específica (ROY, 1990).

O método possui uma estrutura sólida para gerar esse conhecimento (Figura 9), a fim de melhor entender o contexto do problema sendo analisado, buscando uma

tomada de decisão melhor embasada não só em dados, mas também na realidade única do universo em que foi construído o conhecimento (ENSSLIN, MONTIBELLER E NORONHA, 2001).

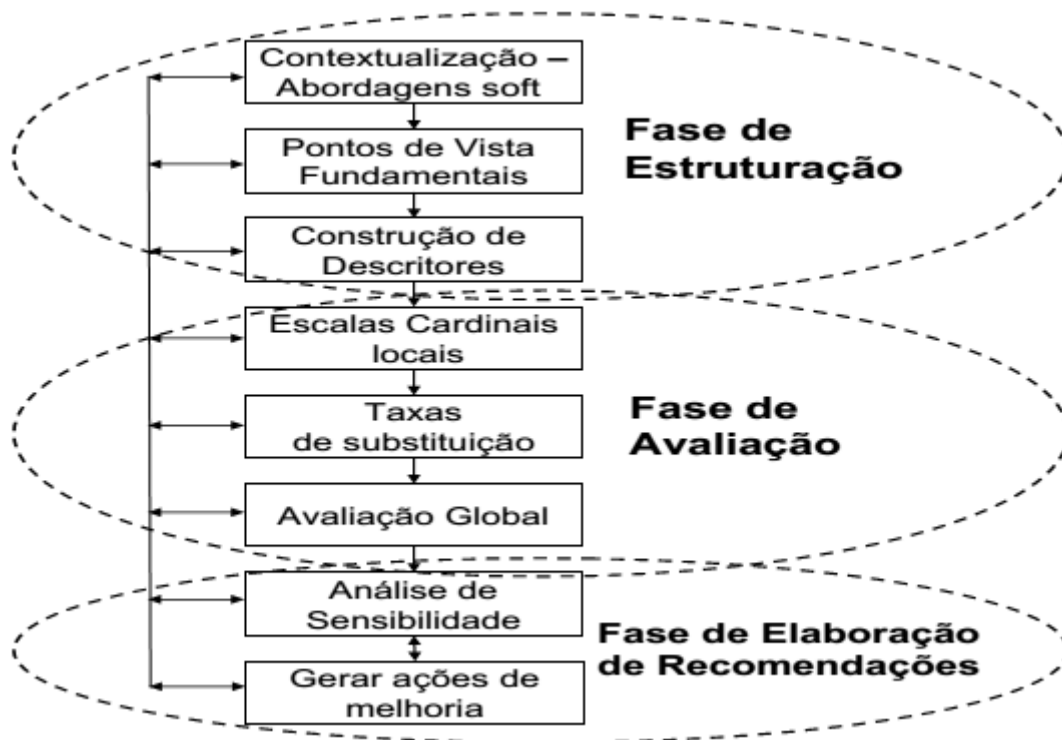


FIGURA 9 - ESTRUTURA DO MCDA-C

FONTE: Bana e Costa e Ensslin, 1999

Analisando-se a Figura 9, nota-se que o conhecimento é gerado em um processo com início, meio e fim, mas vê-se que a estrutura prevê volta a qualquer uma das etapas, caso deseje-se. Neste trabalho, o MCDA-C é parte integrante do modelo proposto de avaliação de projetos de SG, principalmente no que tange à sua estrutura e tratamento de dados.

Uma vez selecionado o motivador estratégico mais relevante para o projeto sendo avaliado, por meio do AHP, o MCDA-C é utilizado para criar descritores que reflitam a realidade da distribuidora local, definir níveis de desempenho que permitam comparar diversos projetos de SG e propor cursos de ação para alavancar o desempenho do projeto analisado. Por exemplo, se para um determinado projeto de SG sendo avaliado determina-se, por meio do AHP, que o aumento da eficiência energética é a alternativa mais relevante a ser trabalhada, utiliza-se o MCDA-C para

construir indicadores que descrevam o que é “aumento da eficiência energética” para a distribuidora responsável pelo projeto, uma vez que o conhecimento é construído em conjunto com decisores desta organização.

Por meio da estrutura e tratamento de dados previstos na teoria do MCDA-C (BANA E COSTA E ENSSLIN, 1999; ENSSLIN, MONTIBELLER E NORONHA, 2001; ENSSLIN E ENSSLIN, 2008; ENSSLIN E LIMA, 2008; MACHADO, ENSSLIN E ENSSLIN, 2015), obtém-se uma função quantitativa que não só descreve a situação atual do projeto estudado em termos dos indicadores criados, mas também orienta os decisores sobre qual curso de ação tomar a fim de atingir o desempenho identificado como “bom” para cada indicador criado.

As três fases do método e cada uma de suas etapas, são melhores explicadas adiante:

- **fase de estruturação:** o principal objetivo desta fase é medir ordinalmente as preocupações necessárias e suficientes para avaliar o contexto, de acordo com o decisor.
  - Etapa 1: contextualizar o problema a ser estudado e definir os papéis dos participantes (decisor, facilitador e agidos);
  - Etapa 2: criar a Árvore dos Pontos de Vista, a partir da clusterização dos Elementos Primários de Avaliação (EPA). Um EPA é uma característica ou propriedade do problema analisado. Este EPA é expandido então para um conceito dual (por exemplo, se “capacidade de reestabelecimento de uma falta de energia” é um EPA, seu conceito poderia ser “religamento automático/manutenção manual”). Todos os EPA e seus respectivos conceitos duais são clusterizados (classificados em categorias como, por exemplo, “geração distribuída”). Vários *clusters* são agrupados, por meio de relações causa-efeito entre os conceitos, em uma estrutura hierárquica que forma a Árvore dos Pontos de Vista Fundamentais. Um Ponto de Vista Fundamental (PVF) é um conjunto de descritores;
  - Etapa 3: a partir da hierarquia estabelecida na Etapa 2, são criadas escalas ordinais (qualitativas) de avaliação para cada

elemento do nível mais baixo da hierarquia. Essas escalas, chamadas de descritores, são ancoradas pelo decisor em dois níveis: bom (nível acima do qual o decisor julga o desempenho como excelente) e neutro (nível abaixo do qual o desempenho do descritor torna-se comprometedor).

- **fase de avaliação:** fase na qual as escalas dos descritores (qualitativas) são transformadas em quantitativas, por meio da avaliação da diferença de atratividade entre os níveis das escalas. É nesta fase que os dados reais do projeto sendo avaliado passam a integrar o modelo, sendo comparados (após normalização) com os níveis ancorados como “bom” ou “neutro” pelos decisores.
  - Etapa 4: primeiramente, solicita-se ao decisor que informe, para cada descritor, a atratividade na passagem de um nível a para um nível b, de acordo com a seguinte escala semântica de atratividade: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema. Estas avaliações, após serem transformadas em números, em uma escala de 0 a 6, formam uma matriz quadrada (matriz de julgamentos semânticos), na qual as linhas e colunas representam os níveis estabelecidos para cada descritor. Depois, normalizam-se os níveis “bom” e “neutro” dos descritores como valendo, respectivamente, 1 e 0. Então, para cada descritor é calculada, por meio do cálculo do autovetor da matriz de julgamentos semânticos, uma função de valor específica;
  - Etapa 5: as taxas de substituição (que representam quais são as melhores ações a se tomar a fim de elevar o desempenho de um PVF para o nível “bom”) são determinadas escolhendo-se quais descritores mais colaborariam para uma mudança do nível “neutro” para o “bom” em cada um dos PVF analisados. O decisor compara cada descritor de um dado PVF de acordo com sua importância para um melhor desempenho do PVF. Ao ordenar os descritores, obtém-se uma hierarquia normalizada dos descritores de um PVF do problema sendo analisado. Esta

comparação é feita para todos os níveis da estrutura (descritores e PVF);

- Etapa 6: para a avaliação global do problema, utilizam-se os resultados obtidos nas Etapas 4 e 5, de acordo com a Equação 5:

$$V_{PVF_k}(a) = \sum_{i=1}^{n_k} w_{i,k} * v_{i,k}(a) \quad (5)$$

Onde:

- $V_{PVF_k}(a)$ : valor global da ação  $a$  do  $PVF_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$ ;
  - $v_{i,k}(a)$ : valor do nível atual de um descritor  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , do  $PVF_k$ ;
  - $a$ : nível de impacto da ação  $a$  (dado pelo autovetor da matriz de julgamentos semânticos);
  - $w_{i,k}$ : taxas de substituição do descritor  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , do  $PVF_k$ ;
  - $n_k$ : número de descritores do  $PVF_k$ .
- **fase de recomendações:** esta fase serve de apoio para que o decisor possa identificar formas de melhorar o desempenho do projeto sendo avaliado, de acordo com o resultado das avaliações obtido na fase anterior.
    - Etapa 7: a análise de sensibilidade dos julgamentos determina o quão sensível a ordem de preferência das ações é a alterações nas taxas de substituição. A ordem entre preferências é definida na Etapa 5. Primeiro, altera-se em 10% (para mais e para menos) a maior taxa de substituição entre os descritores de cada PVF, que representa o descritor mais relevante do PVF analisado. Depois, calculam-se novas taxas de substituição de acordo com a Equação 6:

$$w'_n = \frac{w_n * (1 - w'_i)}{(1 - w_i)} \quad (6)$$

Onde:

- $w'_n$ : taxa de substituição recalculada dos demais descritores,  $n = 1, 2, \dots, n$ ;
  - $w_n$ : taxa de substituição original dos demais descritores,  $n = 1, 2, \dots, n$ ;
  - $w'_i$ : taxa de substituição modificada (10% para mais e para menos) do descritor  $i$  (mais relevante originalmente);
  - $w_i$ : taxa de substituição original do descritor  $i$ ;
- Etapa 8: de acordo com a análise do *status quo* do projeto avaliado e o principal objetivo que se deseja atingir, se constroem as possibilidades de ação, na forma de recomendações para elevar os níveis de desempenho dos descritores.

A Figura 10 ilustra os resultados de uma aplicação do MCDA-C, para apoio do gerenciamento do capital intelectual de uma empresa (ENSSLIN *et al.*, 2008). Os resultados obtidos com uma aplicação do método do MCDA-C podem representar um *roadmap* do problema estudado, com a vantagem de ser contextualizado para a realidade única do problema em questão.

Um *roadmap* trata-se de uma ferramenta que integra diversas informações para tentar responder, sobre o problema estudado: onde se está (avaliação do *status quo* do problema), para onde deve-se ir (descrição do resultado esperado ou ideal) e como chegar lá (sugestões de ações para diminuir a distância entre *status quo* e resultado esperado).

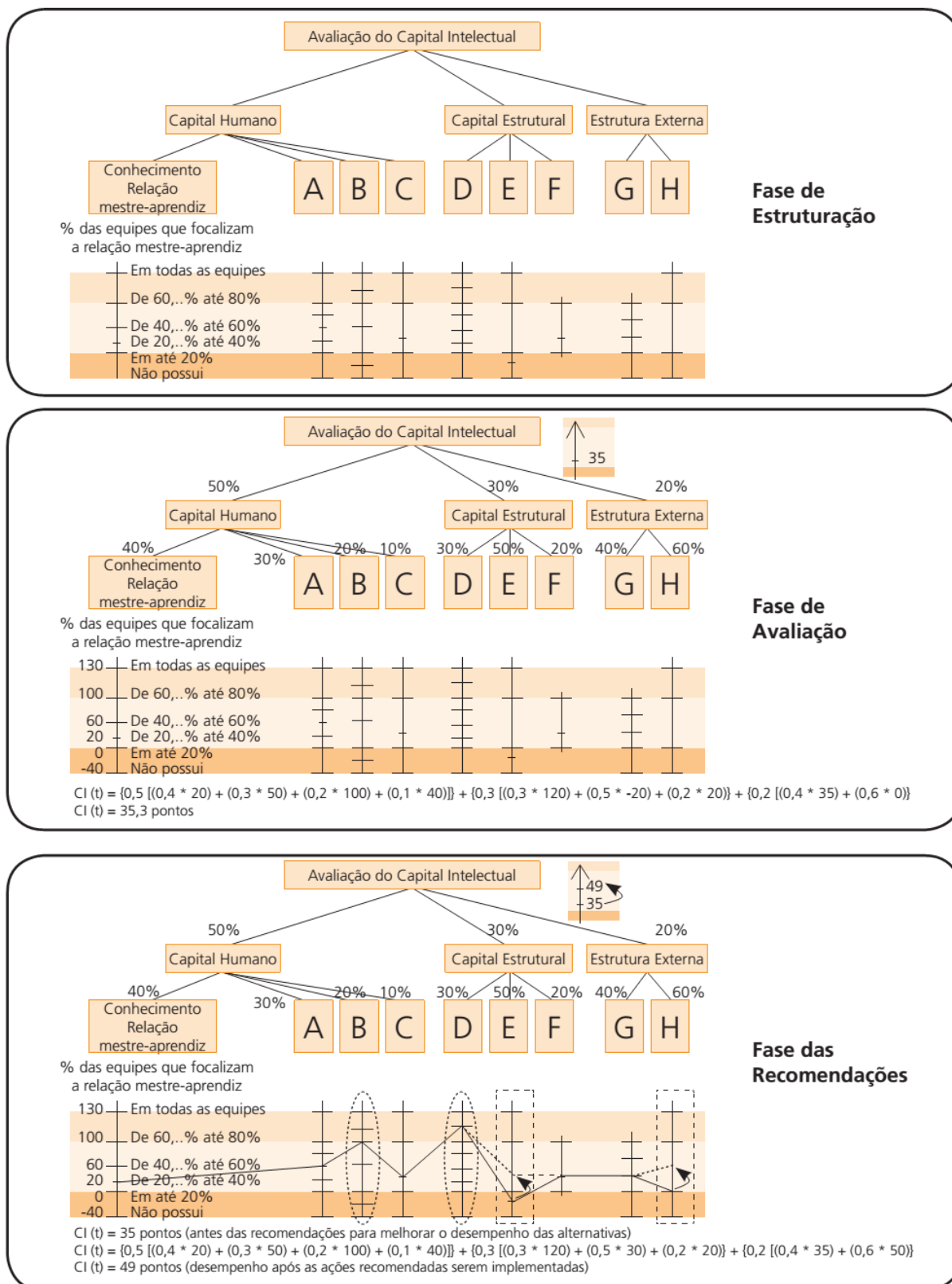


FIGURA 10 - EXEMPLO DE RESULTADO DO MÉTODO MCDA-C

FONTE: Ensslin *et al.*, 2008

Assim, cada um dos três métodos multicritério de apoio à tomada de decisão é utilizado ao longo do trabalho de acordo com seus pontos fortes para diferentes funções, a fim de atingir aos objetivos desta dissertação. O uso destes métodos é resumido na Figura 11.

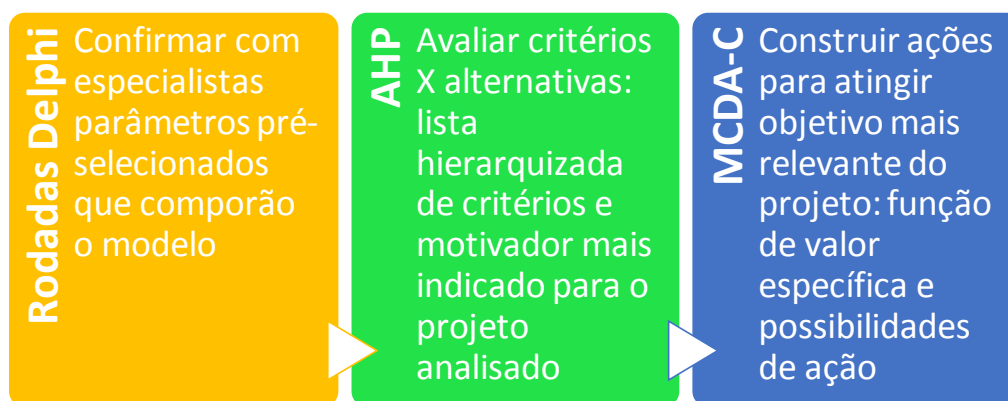


FIGURA 11 - UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

FONTE: O autor, 2015



### 3 METODOLOGIA

As próximas subseções dedicam-se a apresentar a abordagem metodológica da pesquisa e a detalhar os métodos e procedimentos relativos a cada etapa do trabalho.

#### 3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O atingimento dos objetivos desta dissertação depende das escolhas de seus métodos de pesquisa, sendo que estes são determinados pelo propósito da investigação científica. Esta, por sua vez, pode ser definida como um conjunto de proposições logicamente correlacionadas, uma sistematização de conhecimentos acerca dos fenômenos que se deseja estudar (LAKATOS E MARCONI, 2010).

Dessa forma, de acordo com a classificação do método científico proposta por Gil (2009), esta dissertação pode ser enquadrada da seguinte forma:

- **aplicada:** busca resolver um problema específico, que é a avaliação ampla de projetos de SG, de acordo com a estratégia das distribuidoras;
- **exploratória:** busca entender melhor como se relacionam os fatores chave para implementação de SG. Trata-se de uma inovação no setor elétrico, em estágio inicial no Brasil, com aplicações quase totalmente na forma de projetos-piloto;
- **quali-quantitativa:** como a avaliação de projetos de redes elétricas inteligentes passa não somente pela avaliação de parâmetros objetivos (custos e benefícios da implementação), mas também por fatores mais subjetivos (importância das cargas sendo abastecidas por uma dada rede), pode-se enquadrar esta pesquisa como sendo quali-quantitativa.

Quanto à estrutura da pesquisa, foi construída a Figura 12, uma representação esquemática das etapas e procedimentos metodológicos que serão utilizados para o atingimento dos objetivos geral e específicos do trabalho. As próximas subseções detalham os procedimentos mostrados nesta representação gráfica.

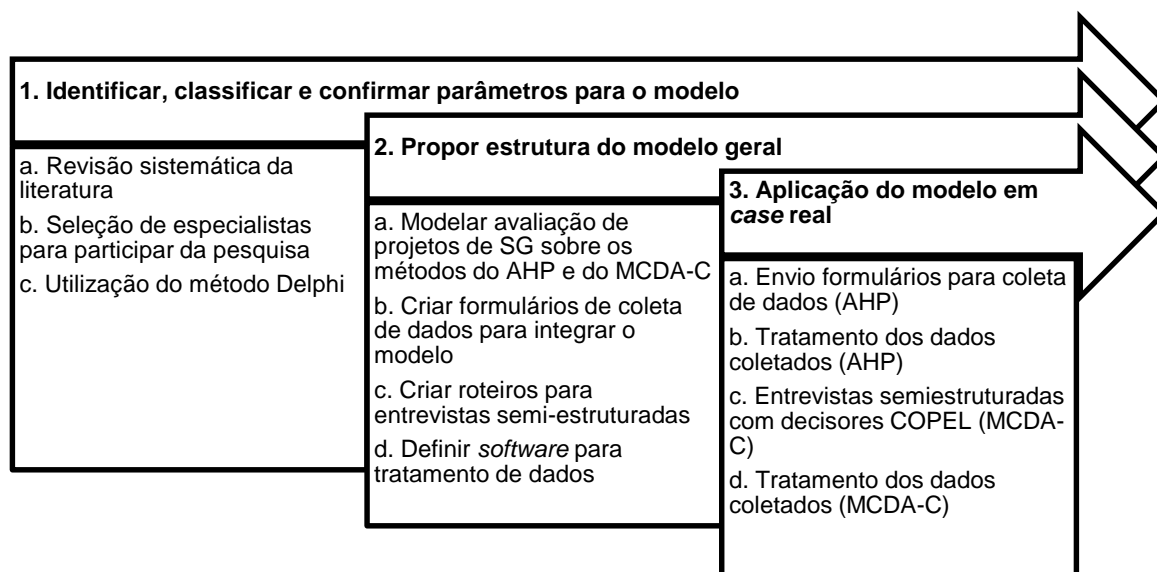


FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA METODOLOGIA

FONTE: O autor, 2015

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E CONFIRMAÇÃO DE PARÂMETROS

Antes de se modelar o problema da avaliação de projetos de SG, devem-se selecionar os parâmetros que farão parte do modelo. A Subseção 3.2.1 é dedicada a explicar o processo de revisão sistemática da literatura utilizado.

#### 3.2.1 Revisão sistemática da literatura

Procurando abranger quais modelos para avaliação de projetos de redes elétricas inteligentes existem na literatura e que parâmetros podem ser considerados essenciais para realizar essa avaliação, de modo amplo, é realizada uma revisão sistemática. A Figura 13 mostra as fases para realização da revisão sistemática sobre redes elétricas inteligentes, com foco na identificação e organização de parâmetros para avaliação de projetos de SG. De acordo com Kitchenham (2004), esse tipo de procedimento tem como objetivo fornecer um método robusto para análise bibliográfica, por meio de uma pesquisa abrangente, exaustiva e replicável.

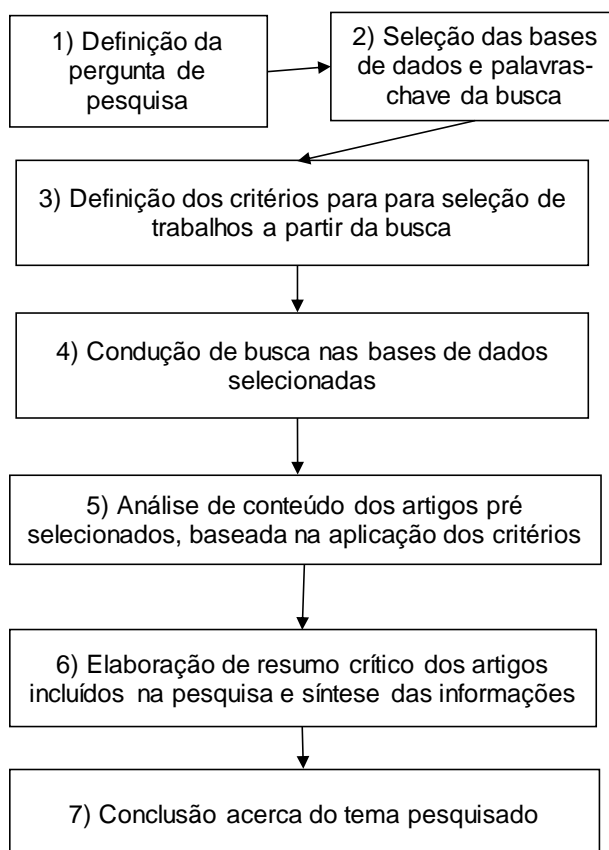


FIGURA 13 - FASES DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

FONTE: O autor, 2015

As fases descritas na Figura 13 foram adaptadas dos trabalhos de Sampaio e Mancini (2006) e Higgins e Green (2008). A pergunta de pesquisa (Fase 1), apresentada na Seção 1, foi definida com base no pressuposto de que a efetiva implementação de projetos de SG passa pela definição de um conjunto de parâmetros que permitam avaliar de forma abrangente o desempenho desses projetos, desde seu planejamento à sua manutenção.

Na Fase 2, os artigos e trabalhos são buscados nas bases de dados do Periódicos CAPES e *Web of Knowledge*; nos sistemas de pesquisa de grandes editoras, mais especificamente *Elsevier* e *Science Direct* e no sistema público de pesquisa do *Google Scholar*. A utilização de diversos tipos de fontes de pesquisa procura contemplar não somente artigos acadêmicos, mas também relatórios e documentos técnicos sobre o tema.

Para as palavras chaves, utilizam-se as ferramentas disponíveis nos sistemas de busca para ampliar os resultados encontrados, notadamente as ferramentas “AND”

e caracteres genéricos como “\*” ou “?”, que buscam termos com diferentes terminações. As palavras chave devem ser buscadas sempre na seção de “tópicos” do sistema de busca, pois esta seção abrange título, resumo e palavras-chave dos trabalhos buscados. Em todas as bases de dados os termos definidos para a pesquisa (*implement\**, *deploy\**, *method\**, *roadmap*, *framework*, *metric*, *criter\**, *performance*, *assessment*, e *evaluat\**) são somados (através do operador booleano AND) aos termos *smart grid* e *smartgrid*. As mesmas buscas são feitas para os equivalentes em português destes termos.

Na Fase 3, primeiramente define-se que só serão buscados trabalhos publicados a partir de 2010, inclusive, devido ao fator de inovação do tema pesquisado. Então, definem-se os critérios principais para filtrar a busca, sendo considerados para seleção trabalhos que atendam ou ao primeiro, ou ao segundo ou aos dois critérios, a saber:

- o trabalho deve apresentar uma metodologia estruturada, qualitativa ou quantitativa, para avaliar a implementação de projetos de SG, no todo ou em partes;
- o trabalho deve apresentar um conjunto estruturado de fatores chave para a implementação de projetos de SG, no todo ou em partes.

Os termos “metodologia” e “fatores chave” são entendidos de maneira ampla para a realização da pesquisa, podendo, por exemplo, uma metodologia ser um *framework* ou um roteiro; e um fator chave uma diretriz, um parâmetro ou um indicador. Após a definição desses critérios, realiza-se a busca propriamente dita nas bases de dados selecionadas. Nesta Fase 4, há a pré-seleção dos trabalhos, por meio da verificação de títulos e resumos para enquadramento do escopo e eliminação de redundâncias. Esta fase de busca é auxiliada pela ferramenta computacional aberta *Mendeley*®, garantindo maior confiabilidade, rastreabilidade e evitando duplicatas.

Ao final da Fase 4, os trabalhos pré-selecionados são submetidos a uma análise de conteúdo, na qual leem-se os trabalhos na íntegra e aplicam-se os critérios de seleção definidos na Fase 3.

As Fases 6 e 7 são realizadas apenas para os trabalhos incluídos na revisão sistemática após a análise de conteúdo. Acerca dos fatores chave de implementação, estes podem ser advindos tanto de trabalhos com modelos já estruturados (com

parâmetros já definidos) quanto de trabalhos de discussão ou apresentação de casos e projetos (que apresentam diretrizes a serem seguidas) sobre a implementação das SG.

Como a identificação de motivadores estratégicos para a implementação de SG depende de aspectos regionais, políticos e socioeconômicos que variam entre países (visão sobre o que seria a inteligência da rede) e entre distribuidoras (objetivos de implementação diferentes), estes estão um nível acima dos fatores gerais de implementação de SG. Assim, por serem em menor número e mais específicos, uma revisão simples da literatura supre essa parte do primeiro objetivo específico, não sendo necessária uma sistemática da literatura.

### 3.2.2 Seleção de especialistas para participar da pesquisa

Após a seleção e classificação inicial dos parâmetros do modelo, devem-se selecionar os especialistas para participar da pesquisa. Neste trabalho, dois são os critérios definidos para tal seleção, embasados nos domínios especificados como essenciais às SG pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2013), a saber:

- ter experiência de, no mínimo, um ano com P&D na área de *Smart Grids*, em pelo menos uma das seguintes subáreas: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; geração distribuída; regulação do setor elétrico; comercialização de energia elétrica; energias sustentáveis;
- ter experiência de, no mínimo, um ano com planejamento, gestão e operação de projetos de *Smart Grids*, em pelo menos uma das seguintes subáreas: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; geração distribuída; regulação do setor elétrico; comercialização de energia elétrica; energias sustentáveis.

A identificação de especialistas para integrar a pesquisa é feita por meio de análise curricular, através de ferramentas como as plataformas Lattes e LinkedIn®. Dessa forma, adianta-se que a amostra é não probabilística do tipo caso crítico, no qual os participantes representam casos essenciais para a pesquisa (FREITAS *et al.*, 2000).

Após selecionados os especialistas, os instrumentos de coleta de dados lhes são enviados, após contato prévio, para preenchimento e recebimento das respostas. Este envio de instrumentos com recebimento de respostas pode ser feito tanto remotamente (via entrevista telefônica, e-mail, carta, etc.), quanto pessoalmente (entrevistas semiestruturadas).

Os especialistas participantes da pesquisa distinguem-se de acordo com a etapa para a qual se coleta dados. Para avaliações referentes aos métodos Delphi e AHP, selecionam-se especialistas de qualquer organização que atendam ou ao primeiro, ou ao segundo ou aos dois critérios mencionados acima nesta subseção. Já para a construção de conhecimentos com o MCDA-C, apenas especialistas da distribuidora de energia local (responsáveis pelo projeto-piloto case desta dissertação) serão consultados.

Isto porque o método do MCDA-C é voltado para descrever um problema ou fenômeno de acordo com uma realidade específica, a fim de suprir tomadores de decisão específicos com mais conhecimento e informação a respeito do seu problema particular. Esta abordagem é especialmente útil no caso das SG, em que especificidades locais possuem impacto significativo nos resultados de um projeto.

### 3.2.3 Utilização do método Delphi

Após seleção dos especialistas, aplicam-se os métodos multicritério de apoio à tomada de decisão. Inicia-se pelo Delphi, para validação da estrutura hierárquica sugerida, validação dos parâmetros escolhidos, adição ou remoção de parâmetros do modelo. Sua operacionalização é realizada conforme Subseção 2.6.1, sendo os dados coletados remota ou pessoalmente pelo pesquisador, utilizando-se um questionário como instrumento de coleta de dados (Apêndice A).

Após a coleta inicial dos dados, estes são tratados e, em caso de não convergência, inicia-se outra rodada de coleta de dados. Estipulou-se para esta pesquisa um máximo de três rodadas Delphi, independentemente de haver ou não consenso. Isto porque o método permite encerrar o processo de decisão caso já haja informações suficientes sobre o assunto estudado, mesmo sem consenso total entre os decisores.

### 3.3 PROPOSIÇÃO DO MODELO GERAL

As próximas subseções pormenorizam as etapas metodológicas para atingimento do segundo objetivo específico, a utilização de métodos multicritério de apoio à tomada de decisão como base para avaliar o desempenho de projetos de SG.

#### 3.3.1 Modelar a avaliação de projetos de SG sobre os métodos do AHP e do MCDA-C

Com os parâmetros do modelo já validados pelos especialistas, mapeiam-se as etapas e requisitos do AHP e do MCDA-C, métodos cuja teoria, estrutura, metodologias para tratamento de dados integram o modelo proposto nesta dissertação. Primeiramente, de acordo com a teoria apresentada na Subseção 2.6.2, relacionam-se as entradas necessárias para uso do AHP com os seguintes parâmetros (critérios ou alternativas) do modelo:

- **o objetivo geral da aplicação** torna-se a avaliação de projetos de SG, para certa área de abrangência;
- **os critérios do AHP** são tratados como os fatores chave para implementação de SG, sendo imutáveis;
- **as alternativas à disposição** tornam-se os motivadores estratégicos para SG. Estes podem variar de acordo com o escopo do projeto e sua área de abrangência.

Após a modelagem dos critérios e alternativas em forma de hierarquia, realizada durante a revisão sistemática e validada pela aplicação do método Delphi, preparam-se instrumentos de coleta de dados para que avaliadores realizem as comparações pareadas previstas para o AHP, e, no caso do MCDA-C, cujo ponto de partida no modelo é advindo da resposta do AHP (motivador estratégico mais relevante para o projeto sendo avaliado), colem-se dados suficientes para realizar todas as suas etapas, desde a estruturação, até a avaliação e recomendações relativas ao projeto avaliado.

Dessa forma, a modelagem do problema da avaliação ampla de projetos de SG, de acordo com a estratégia das distribuidoras de energia elétrica parte da identificação e classificação de fatores chave para avaliar esses projetos e de fatores

que motivem essas organizações a investirem em SG. A Figura 14 ilustra a modelagem explicada anteriormente.

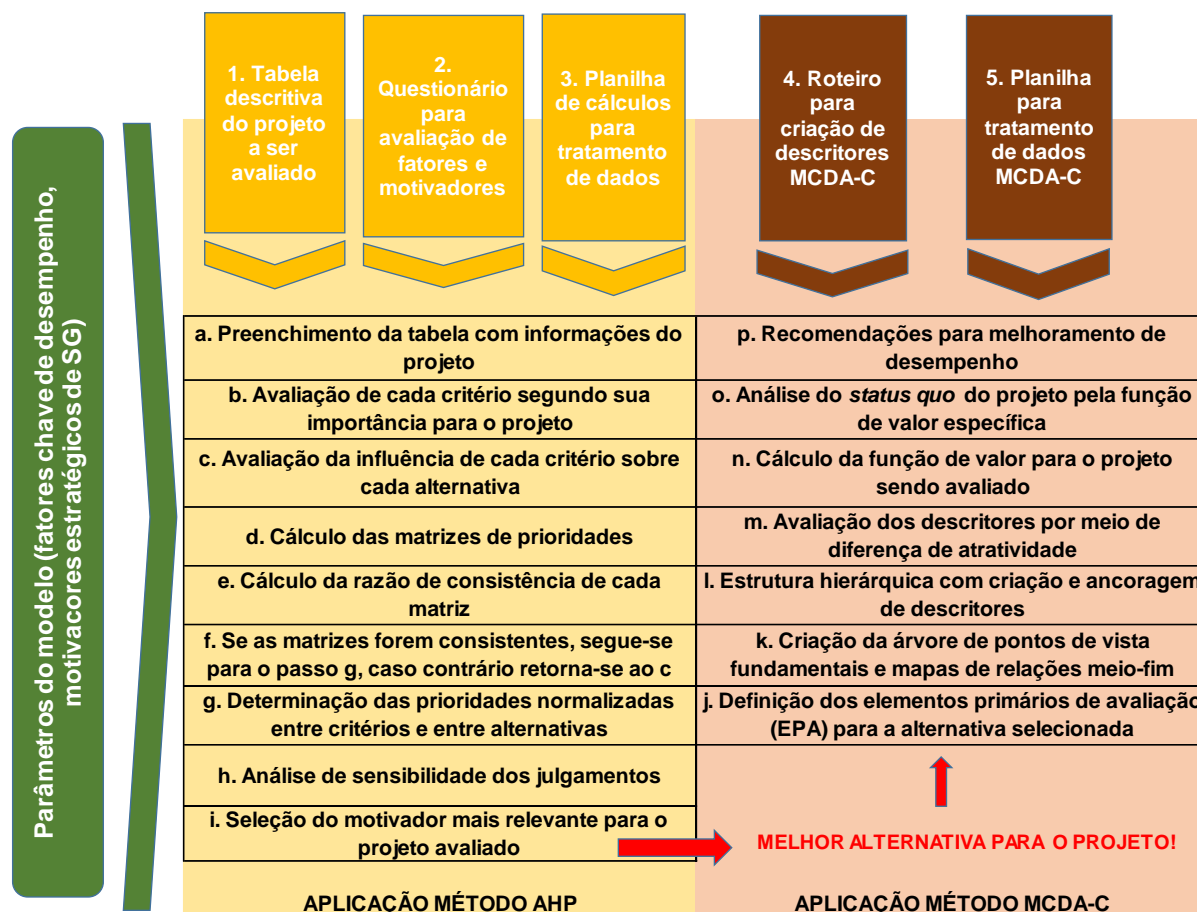


FIGURA 14 - MODELAGEM DA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE SG

FONTE: O autor, 2015

No modelo proposto, a avaliação propriamente dita é feita embasando-se nas propriedades de métodos multicritério de apoio à tomada de decisão, mais especificamente nas estruturas do AHP e do MCDA-C, consagradas pela versatilidade na abordagem para solução de problemas e pela capacidade de descrever problemas via parâmetros, priorizar estes parâmetros, criar conhecimento sobre um fenômeno e, principalmente, dar subsídios para uma melhor tomada de decisão a respeito de um problema.

Entende-se que estes métodos são adequados para a avaliação de projetos de SG, devido às características destes e de quais situações a abordagem destes



métodos é adequada. Por fim, cabe ressaltar aqui que o modelo proposto não necessita de um pesquisador facilitador para ser utilizado. Uma vez elaborado e entendido seu passo a passo, um gestor de projeto de SG, por exemplo, pode servir-se do modelo para avaliar qualquer projeto sob sua responsabilidade.

### 3.3.2 Criação dos instrumentos de coleta de dados

Diferentemente do questionário utilizado para aplicação do método Delphi, os instrumentos criados para coleta de dados e avaliações dos projetos de SG são parte integrante do modelo proposto nesta dissertação, sendo um questionário para ser utilizado com o método do AHP e um roteiro para entrevista semiestruturada, a ser utilizado com o MCDA-C. Antes da aplicação efetiva de cada um destes instrumentos, é feito um teste do instrumento para checar sua validade aparente, de conteúdo e de constructo (FREITAS *et al.*, 2000).

Para o primeiro instrumento, utilizado em conjunto com o AHP, opta-se pelo questionário, que contém uma tabela para preenchimento das informações relativas ao projeto que se deseja avaliar e perguntas que, quando respondidas, contemplam todos os dados necessários para selecionar qual motivador estratégico é mais relevante para o projeto sendo avaliado e quais fatores chave de sucesso mais influenciam nesta alternativa.

Na tabela, são apresentadas informações sobre o projeto a ser avaliado, por exemplo tecnologias utilizadas, abrangência do projeto, entre outras. Esta tabela é padrão para qualquer projeto que venha a ser avaliado, devendo ser modificada a cada novo projeto. Então, dois tipos de perguntas são feitos:

- um para comparar critério x critério, de acordo com sua importância para o projeto sendo avaliado, com formato “qual a importância do critério X para o projeto Y?”, múltipla escolha;
- outro para comparar alternativa x alternativa, de acordo com a influência dos critérios sobre elas, com formato “qual a influência do critério A sobre as alternativas B, C, D, etc.?”, múltipla escolha em forma de matriz.

Estas perguntas não são modificadas, pois referem-se aos fatores chave e aos motivadores estratégicos já selecionados para o modelo, ou seja, todos os

projetos são avaliados de acordo com o mesmo conjunto finito de critérios, segundo a escala de avaliação apresentada na Subseção 2.6.2. O questionário completo para uso com o AHP é mostrado no Apêndice B desta dissertação. Após a resposta dos questionários, os dados são inseridos em uma planilha para tratamento matemático, cálculo de consistência e análise de sensibilidade das respostas.

Para a coleta de dados relativos ao MCDA-C, pela característica de criação de conhecimento em conjunto com especialistas, torna-se difícil estruturar instrumentos muito rígidos quanto à forma. Dessa forma, opta-se pela entrevista semiestruturada como instrumento de pesquisa, uma vez que estas permitem maior liberdade ao entrevistado em manifestar-se e fornecer informações importantes para a pesquisa (BRITTO JR. E FERES JR., 2011). Os principais aspectos a serem levantados, em conjunto com o decisor, nestas entrevistas são:

- esclarecer os pontos de vista fundamentais de preocupação para atingir aos objetivos do projeto sendo avaliado, bem como seus conceitos duais;
- criar os descritores para o motivador mais relevante do projeto e estabelecer seus níveis de ancoragem (bom e neutro);
- avaliar a diferença de atratividade entre níveis dos descritores, para formação da matriz de julgamentos semânticos;
- escolher quais descritores mais impactam em uma mudança de nível para cada PVF, para cálculo das taxas de substituição;
- recomendar possibilidades de ação para elevar o desempenho do projeto.

### 3.3.3 Definição de *software* de apoio ao uso dos métodos

Alguns recursos computacionais são necessários para apoiar a pesquisa sendo realizada, principalmente no que se refere à criação, utilização e tratamento de dados dos métodos multicritério. Para criar os questionários utilizados em conjunto com o Delphi e o AHP, utiliza-se a ferramenta aberta do *Google Forms*®, pois permite o envio por *e-mail*, impressão dos documentos criados, várias opções de perguntas, edição e informações sobre as respostas de forma simples.

Já para o tratamento dos dados coletados com os métodos do AHP e do MCDA-C, utiliza-se uma planilha padrão criada com o editor de planilhas *Google Sheets*®, também aberto. Estas planilhas são construídas pelo autor desta

dissertação baseadas nos conceitos e formulações de cada método, apresentados nas Subseções 2.6.2 e 2.6.3.

### 3.4 APLICAÇÃO DO MODELO EM CASE REAL

A partir da proposição do modelo, parte-se para a etapa final do trabalho, que é sua aplicação em um caso real. Esta aplicação é feita de acordo com a Figura 14, que ilustra a modelagem do problema de acordo com os métodos multicritério de apoio à tomada de decisão.

O caso de estudo é o projeto-piloto da COPEL “Paraná *Smart Grid*”, que se propõe a realizar aplicações de elementos de SG na distribuição de energia, sendo uma das principais premissas do projeto a redução de custo operacional da distribuidora e fornecimento de energia com maior qualidade para consumidores (COPEL, 2014).

A amostragem para o estudo de caso é não probabilística e enquadra-se como sendo do tipo caso crítico e por conveniência. As razões principais para a escolha deste projeto como caso de estudo são: é o único projeto deste tipo sendo desenvolvido no Estado do Paraná; a localização do projeto, na cidade em que se realiza a pesquisa; abertura para comunicação e troca de informações com os responsáveis pelo projeto; grande abrangência de cada distribuidora de energia no Brasil, sendo que as estratégias da COPEL para as SG podem representar praticamente todo o Estado do Paraná.

Uma vez que o case objeto de estudo deste trabalho é único, foi solicitado à concessionária dona do projeto-piloto estudado um termo de compromisso de auxílio à pesquisa (Anexo A), no que concerne à disponibilização de dados sobre o projeto estudo de caso. Conforme já mencionado, a análise deste caso se dá por motivos de avaliação do modelo proposto neste trabalho. Assim, apesar de poder refletir singularidades da concessionária local, entende-se que o modelo pode ser aplicado de forma mais abrangente para outros projetos, em outros contextos.

Também, constata-se que o modelo pode ser usado para avaliar tanto o interesse em se instalar um projeto de SG quanto o seu desempenho. Isso significa que um projeto poderá ser avaliado antes da implementação, na fase de planejamento, e depois do início da execução. Outra característica é a possibilidade

de avaliações periódicas de um projeto, indicando se o atingimento dos motivadores estratégicos está no caminho certo e se o interesse da distribuidora para com o projeto continua o mesmo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados do trabalho, na ordem em que são mostrados na Figura 12, na Subseção 3.1 de metodologia da pesquisa. Também são realizadas discussões sobre os resultados obtidos.

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS PARA COMPOR O MODELO

Esta etapa do trabalho é baseada na realização da revisão sistemática sobre os fatores chave para implementação de SG e seus motivadores estratégicos. A revisão contava com diretrizes bem definidas para busca dos trabalhos, detalhadas na Subseção 3.2.

Ao final da fase de pré-seleção dos trabalhos nas bases de dados escolhidas, de acordo com as palavras-chave definidas, 140 trabalhos foram enquadrados dentro do escopo delimitado. Destes, dois não se encontravam disponíveis, e os outros 138 foram submetidos à fase de análise de conteúdo, tendo sido selecionados 57 trabalhos após a aplicação dos critérios de seleção estabelecidos.

Assim, foram analisados criticamente estes 57 trabalhos incluídos na revisão sistemática sobre o tema, a fim de identificar os parâmetros que compõem o modelo proposto neste trabalho. Dos 57 trabalhos incluídos na revisão sistemática, 11 apresentavam modelos de avaliação de SG, que foram detalhados e incluídos na seção de referencial teórico do projeto de dissertação, por se tratarem do estado da arte para avaliação de projetos dessa natureza.

Além destes 11 trabalhos que trazem modelos estruturados, os outros foram analisados por conterem fatores que podem ser incluídos para construção do modelo. Esses fatores podem ser diretrizes, parâmetros, indicadores, entre outros. Também nesta revisão foram buscados os principais motivadores estratégicos para implementação de SG.

Os resultados da análise de conteúdo identificaram 61 fatores chave para implementação de SG e 17 motivadores estratégicos. A inclusão de fatores chave no modelo deverá ser feita em três níveis, sendo o mais baixo o objetivo geral do modelo, que é a avaliação e seleção de projetos de SG, o segundo nível será a categoria geral a que pertencem os fatores de nível três. Estes fatores são os critérios que integrarão

a estrutura hierárquica do AHP, sendo alguns mais abrangentes e outros mais específicos.

Como resultado dessa primeira categorização dos fatores, os seguintes critérios de Nível 1 foram identificados: **fatores técnicos, econômicos, de qualidade, ambientais, de segurança, humanos, regulatórios e de infraestrutura**. O Quadro 8 mostra a primeira classificação dos fatores selecionados da literatura, já eliminadas as sobreposições.

CATEGORIA	FATORES CHAVE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SG
Desempenho técnico	Demanda do sistema (MW)
	Fator de carga do sistema (%)
	Nível de perdas técnicas (kW)
	Nível de perdas não-técnicas (kW)
	Infraestrutura elétrica (número de subestações e de consumidores atendidos)
	Infraestrutura de telecomunicações (número de sensores para atingimento dos objetivos do projeto)
	Vida útil dos recursos (anos)
	Facilidade de operação (automação, controle remoto, capacidade de isolamento, leituras automáticas)
	Gestão pelo lado da demanda (kW retirados da ponta)
	Potência absorvida através de geração distribuída (capacidade de absorção)
	Integração de tecnologias e sistemas (taxa de falhas durante aquisição ou processamento de dados)
	Ferramentas de suporte (controle de processos para gestão do sistema inteligente)
Desempenho econômico	Faturamento atual do sistema elétrico (R\$)
	Investimento inicial em hardware (medidores, sensores, concentradores - R\$)
	Investimento inicial em software (R\$)
	Custo de operação do sistema (% dos investimentos)
	Ganhos com redução perdas técnicas e comerciais (% do faturamento)
	Ganhos operacionais (% dos custos operacionais)
	Investimentos diferidos em geração, transmissão e distribuição (R\$)

QUADRO 8 - CATEGORIZAÇÃO DE FATORES PARA AVALIAÇÃO DE SG - continua

CATEGORIA	FATORES CHAVE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SG
Sustentabilidade	Caracterização das cargas do sistema (alta, média ou baixa importância)
	Escalabilidade (número de reclamações/número consumidores atendidos)
	Disponibilidade de profissionais treinados (mão de obra especializada para instalar e operar o sistema)
	Redução impacto ambiental (emissões CO2, eficiência energética)
	Envolvimento do consumidor (ciência do projeto, engajamento como prosumidor)
	Consistência entre custos x benefícios (viabilidade do projeto)
Qualidade do serviço	Número de interrupções do fornecimento (FEC)
	Duração das interrupções do fornecimento (DEC)
	Conformidade com padrões de qualidade da tensão
	Tempo para localização, isolamento e reparo de faltas (minutos)
	Número de consumidores com medição automática (com capacidade para novos serviços)
	Quantidade de novos serviços oferecidos
Segurança	Conformidade com padrões de segurança operacional
	Conformidade com padrões de segurança cibernética
Regulação	Modelos de mercado regulados (tarifas diferenciadas, serviços auxiliares)
	Estrutura sólida de regulação para SG

QUADRO 8 - CATEGORIZAÇÃO DE FATORES PARA AVALIAÇÃO DE SG - conclusão

FONTE: O autor, 2015

Relativo aos fatores, dependendo da abordagem, alguns trabalhos classificam um fator como pertencendo a categorias diferentes. Eficiência energética, por exemplo, é colocada como sendo um fator ambiental ou técnico. Em termos amplos, pertence às 2 categorias, mas a qual agente influencia e qual a medida da variável é que determinaria em qual parâmetro se enquadra (por exemplo, % perdas técnicas em linhas de transmissão – parâmetro técnico; % de redução dessa perda em linha com a instalação de SG – ambiental).

Outra dificuldade em se categorizar esses fatores é diferenciar parâmetros primários, secundários e assim por diante. Comparando-se o trabalho do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2012) com o de Arnold, Rui e Wellssow, (2012), fica clara a diferença quanto ao seu nível de análise. Aqueles colocam “fator de potência do sistema” como fator de Nível 1, e estes como um fator de Nível 3.

Dessa forma, foi necessária uma análise mais criteriosa para classificar esses fatores antes de validá-los com especialistas por meio do método Delphi.

Relativo aos motivadores, apesar de alguns não serem totalmente adequados para o caso brasileiro, optou-se por deixá-los como opções válidas dentro do *pool* de parâmetros deste tipo, já que se pretende que o modelo seja o mais geral possível. Após uma primeira análise desses motivadores, os seguintes 6 foram selecionados: **aumento da eficiência energética, melhoria da qualidade do sistema, crescimento sustentável, redução dos custos operacionais, oferta de novos serviços e facilidade de operação.**

Deve-se notar que, diferentemente dos motivadores, que são alternativas para atingimento do objetivo geral do modelo, os fatores chave são critérios inerentes a qualquer projeto, sendo fixos. Já os motivadores dependem da visão e da estratégia da distribuidora para a área de abrangência em que se deseja implementar SG. A partir do cruzamento da avaliação dos motivadores estratégicos para SG com a avaliação de quais critérios são necessários para atendê-los, obtém-se um panorama geral sobre o projeto sendo avaliado.

#### 4.2 APLICAÇÃO MÉTODO DELPHI

Para esta aplicação, utilizou-se um questionário para validação dos parâmetros pré-selecionados da literatura. Primeiramente executou-se um pré-teste do instrumento com 8 alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da UFPR. Após a realização desta etapa, a ordem e o formato das perguntas foi alterado, além de terem sido adicionadas maiores explicações sobre os objetivos da pesquisa sendo realizada.

Para o método Delphi, o instrumento foi enviado para 12 especialistas, segundo os critérios definidos na Subseção 3.2.2. Um total de 7 respostas foi obtido dentro do prazo de um mês, estabelecido como limite para esta aplicação. Destes especialistas, dois estão inseridos na área de P&D em SG, subáreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Um está na área de regulação em SG, subárea de regulação do setor elétrico, e os outros quatro na área de planejamento, gestão e operação de SG, em todas as subáreas definidas na Subseção 3.2.2.



O consenso foi atingido já na primeira rodada Delphi, sendo que para todas as perguntas o valor do *Content Validity Ratio* (CVR) foi maior do que 0,29. A escala das respostas do questionário variava de 1 (discordo completamente) a 5 (concordo completamente), sendo que para o cálculo do CVR, de acordo com a Equação 1, respostas maiores que 3 foram consideradas como avaliações positivas dos especialistas. O Gráfico 1 mostra a frequência de avaliações positivas por parâmetro.

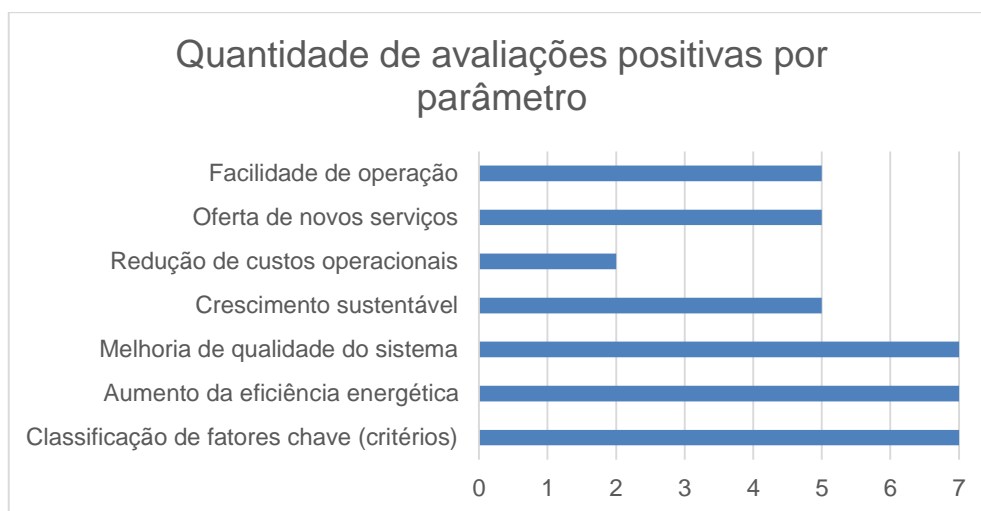


GRÁFICO 1 - AVALIAÇÕES DELPHI POSITIVAS POR PARÂMETRO

Fonte: O autor, 2015

De acordo com o Gráfico 1, todos os especialistas concordaram com a classificação dos fatores chave para avaliar SG. Dessa forma, os fatores selecionados para integrar o modelo, bem como sua categorização para aplicação posterior no método do AHP, são aqueles mostrados no Quadro 8. Não houve alterações nestes parâmetros após a aplicação do Delphi, sendo que o CVR da pergunta de validação desta classificação teve valor unitário, ou seja, todos os especialistas afirmaram que a seleção e classificação hierárquica estava adequada.

Quanto aos motivadores estratégicos (que serão as alternativas a serem hierarquizadas pelo AHP), avaliados um a um, dos 6 originalmente selecionados para integrar o modelo, restaram 5, tendo sido excluído um motivador, pois o painel de especialistas não o considerou relevante. O Quadro 9 mostra a relação dos motivadores incluídos e excluídos e seus respectivos CVR. Aqueles cujo CVR possui valor negativo foram excluídos do modelo.

<b>Motivador estratégico</b>	<b>CVR</b>
Aumento da eficiência energética	1,0
Melhoria da qualidade do sistema	1,0
Crescimento sustentável	1,0
Oferta de novos serviços	0,43
Redução de custos operacionais	-0,43
Facilidade de operação	0,43

QUADRO 9 - AVALIAÇÃO DOS MOTIVADORES PARA COMPOSIÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Fonte: O autor, 2015

#### 4.3 APLICAÇÃO MÉTODO AHP

Assim como com o questionário para aplicação do método Delphi, o instrumento de coleta de dados elaborado para utilização com o AHP passou por um pré-teste com alunos do PPGEF, cujo intuito não é validação de conteúdo, mas validação aparente e de constructo. Aqui, também houve a necessidade de se incluírem informações adicionais sobre alguns conceitos utilizados no questionário.

Diferentemente da aplicação do Delphi, entretanto, por ser parte integrante do modelo proposto nesta dissertação, o questionário para o método do AHP foi submetido a um pré-teste com 2 especialistas, para que houvesse também a validação de conteúdo, como unidades e significado dos fatores chave de implementação e a relação destes com os motivadores estratégicos para SG.

Normalmente, em uma aplicação do AHP, uma matriz contendo todos os critérios a serem avaliados é utilizada na etapa de emissão de julgamentos de valor. Neste trabalho, entretanto, optou-se por um questionário com perguntas de múltipla escolha pois, sem detrimento para posterior tratamento de dados, a avaliação dos parâmetros torna-se menos cansativa para o especialista, correndo-se menos riscos de não haver consistência nos julgamentos. O formato do questionário enviado aos especialistas seguiu o padrão estabelecido na Subseção 3.3.2.

Dessa forma, foram enviados (remota ou pessoalmente) um total de 16 questionários a especialistas de SG. Aqui, além daqueles especialistas inicialmente selecionados para participar da pesquisa, durante as entrevistas para coleta de dados tanto do Delphi quanto do AHP, foi solicitado aos especialistas que indicassem outros possíveis participantes para a pesquisa. Nesta etapa, foram obtidas 10 respostas em seis semanas, prazo estabelecido para esta coleta de dados.

O primeiro passo para o tratamento dos dados foi transformar os julgamentos dos especialistas, ou seja, as respostas qualitativas do questionário, em números da escala apresentada no Quadro 7 (SAATY, 1991; 2008). Então, como utilizou-se o método do AHP com mais de um decisor, foi calculada a média geométrica das avaliações dos decisores, tanto para a importância de cada fator chave quanto para a influência dos fatores sobre os motivadores do projeto.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos para alguns dos parâmetros avaliados pelos especialistas.

TABELA 1 - AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS NO AHP PELOS ESPECIALISTAS

CATEGORIA	NOTA PONDERADA	FATOR CHAVE	MÉDIA GEOMÉTRICA AVALIAÇÕES	SOMA	NOTA TOTAL POSSÍVEL
<b>Qualidade do serviço</b>	74%	Número de interrupções do fornecimento (FEC)	7,22	39,78	54
		Duração das interrupções do fornecimento (DEC)	7,22		
		Conformidade com padrões de qualidade da tensão	7		
		Tempo para localização, isolamento e reparo de faltas (minutos)	7,22		
		Número de consumidores com medição automática (com capacidade para novos serviços)	5,67		
		Quantidade de novos serviços oferecidos	5,44		
<b>Segurança</b>	73%	Conformidade com padrões de segurança operacional	6,78	13,11	18
		Conformidade com padrões de segurança cibernética	6,33		

FONTE: O autor, 2015

Como cada categoria possui um número de fatores chave de implementação diferente, é necessário realizar uma normalização das notas, uma vez que cada categoria é tão importante quanto as outras. Esta nota ponderada, com escala de 0 a 100%, é mostrada na segunda coluna da Tabela 1, que apenas exemplifica alguns dos resultados, obtidos para todos os fatores mostrados no Quadro 8.

Seguindo os passos para tratamento de dados apresentados na Subseção 2.6.2, criaram-se as matrizes de comparação dos parâmetros do modelo. Primeiramente, constrói-se a matriz de comparação paritária dos fatores chave *versus* fatores chave, de acordo com sua importância para o projeto. Depois, a dos fatores chave *versus* motivadores, de acordo com a influência daqueles sobre estes. Por fim, usa-se a matriz fatores *versus* motivadores para se obter diversas matrizes, também de comparação paritárias, do tipo motivadores *versus* motivadores, uma para cada categoria de critérios.

A Tabela 2 mostra a comparação paritária dos fatores chave para implementação de SG, por categorias.

TABELA 2 - FATOR CHAVE X FATOR CHAVE, POR CATEGORIA

<b>CATEGORIA X CATEGORIA</b>	<b>Des. técnico</b>	<b>Des. econômico</b>	<b>Sustenta- bilidade</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Segurança</b>	<b>Regulação</b>
<b>Des. técnico</b>	1,00	1,05	1,07	0,95	0,96	1,05
<b>Des. econômico</b>	0,95	1,00	1,02	0,90	0,91	1,00
<b>Sustentabilidade</b>	0,94	0,98	1,00	0,89	0,90	0,98
<b>Qualidade</b>	1,06	1,11	1,13	1,00	1,01	1,10
<b>Segurança</b>	1,04	1,10	1,11	0,99	1,00	1,09
<b>Regulação</b>	0,96	1,00	1,02	0,91	0,92	1,00

FONTE: O autor, 2015

Assim como todas as matrizes de comparação paritárias, a apresentada na Tabela 2 possui todos os elementos da diagonal principal iguais a 1,0. Isto porque comparar um parâmetro do modelo com ele mesmo resulta em igual importância para o projeto. Analisando-se a Tabela 2, pode-se deduzir, por exemplo, que os especialistas consideram, para o Projeto Paraná *Smart Grid*, que o desempenho técnico é mais importante do que o desempenho econômico, a sustentabilidade e a regulação, mas menos importante do que a qualidade e a segurança.

Outro ponto a ser comentado é que, segundo os especialistas, os fatores chave que compõem a categoria “qualidade do serviço” são mais relevantes do que todos os outros, como se nota pela quinta linha da Tabela 2. Entretanto, para poder hierarquizar os motivadores do projeto, devem-se criar as matrizes que comparam, par-a-par, os motivadores do projeto. A Tabela 3 mostra a influência dos fatores chave

*versus* motivadores. Esta matriz da Tabela 3, formada pelas médias geométricas das perguntas de segundo tipo do questionário, representa o quanto uma categoria de fatores chave influencia um motivador estratégico para o projeto.

TABELA 3 - MATRIZ DA INFLUÊNCIA DOS FATORES CHAVE SOBRE OS MOTIVADORES ESTRATÉGICOS

FATOR CHAVE / MOTIVADOR ESTRATÉGICO	Aumento da eficiência energética	Melhoria da qualidade do sistema	Crescimento sustentável	Oferta de novos serviços	Facilidade de operação
<b>Des. técnico</b>	6,78	7,22	5,67	4,56	6,11
<b>Des. econômico</b>	6,33	6,56	5,44	6,11	5,89
<b>Sustentabilidade</b>	5,22	5,44	7,22	4,11	4,56
<b>Qualidade</b>	5,67	8,33	4,56	4,56	6,11
<b>Segurança</b>	5,22	6,33	5,00	5,00	6,11
<b>Regulação</b>	6,56	6,56	5,44	5,89	5,67

FONTE: O autor, 2015

Por exemplo, os especialistas consideraram que o desempenho econômico possui menor influência sobre o crescimento sustentável do sistema, mas maior sobre a melhoria de qualidade deste. Se forem analisadas as colunas da matriz, nota-se que a que possui maior pontuação (soma das notas) é a do motivador “melhoria de qualidade do sistema”. Isso fornece bons indícios de que este motivador pode ser o mais relevante para o projeto.

Porém, esta matriz (Tabela 3) é um passo intermediário para tratamento dos dados, pois é a partir dela que se constroem as matrizes de comparação paritária de motivadores *versus* motivadores. Foram construídas um total de seis matrizes deste terceiro tipo, uma para cada categoria de critérios. Para apresentação dos resultados obtidos, apresenta-se, na Tabela 4, a matriz paritária dos motivadores sob a influência do desempenho técnico.

TABELA 4 - COMPARAÇÃO PARITÁRIA DOS MOTIVADORES, SOB INFLUÊNCIA DO DESEMPENHO TÉCNICO

<b>MOTIVADOR X MOTIVADOR, SOB INFLUÊNCIA DO DESEMPENHO TÉCNICO</b>	<b>Aumento da eficiência energética</b>	<b>Melhoria da qualidade do sistema</b>	<b>Crescimento sustentável</b>	<b>Oferta de novos serviços</b>	<b>Facilidade de operação</b>
<b>Aumento da eficiência energética</b>	1,00	0,94	1,20	1,49	1,11
<b>Melhoria da qualidade do sistema</b>	1,07	1,00	1,27	1,59	1,18
<b>Crescimento sustentável</b>	0,84	0,78	1,00	1,24	0,93
<b>Oferta de novos serviços</b>	0,67	0,63	0,80	1,00	0,75
<b>Facilidade de operação</b>	0,90	0,85	1,08	1,34	1,00

FONTE: O autor, 2015

Isoladamente, a Tabela 4 mostra que melhoria de qualidade do sistema é o motivador mais relevante para o projeto em se tratando do desempenho técnico deste, pois possui comparações paritárias sempre maior ou igual a 1,0. É a partir das matrizes semelhantes à da Tabela 4 que se obtém a hierarquização da melhor alternativa para o projeto, pois pode ser que, sob a luz das outras categorias de fatores chave, outro motivador estratégico seja mais relevante para o projeto.

Assim, para hierarquização dos fatores e motivadores de SG pelo método do AHP, deve-se calcular o autovetor direito (normalizado) de cada matriz paritária, bem como seu autovalor máximo. Com esses dados em mãos, verifica-se a validade dos dados através do índice e da razão de consistência de cada matriz de comparação paritária. Os autovetores, autovalores, razão e índice de consistência, calculados conforme descrito na Subseção 2.6.2 para cada matriz de comparação paritária criada, são mostrados na Tabela 5.

TABELA 5 - AUTOVETORES, AUTOVALORES, ÍNDICES E RAZÃO DE CONSISTÊNCIA DAS MATRIZES PARITÁRIAS

	Des. técnico	Des. econômico	Sustentabilidade	Qualidade	Segurança	Regulação	Autovetor da matriz de fatores chave
<b>Autovetores das matrizes dos motivadores, sob influência de cada categoria de fatores chave</b>	0,22	0,21	0,20	0,19	0,19	0,22	<b>0,17</b>
	0,24	0,22	0,21	0,29	0,23	0,22	<b>0,16</b>
	0,19	0,18	0,27	0,16	0,18	0,18	<b>0,16</b>
	0,15	0,2	0,15	0,16	0,18	0,2	<b>0,18</b>
	0,2	0,19	0,17	0,21	0,22	0,19	<b>0,18</b>
	-	-	-	-	-	-	<b>0,16</b>
<b>Autovalores máximos</b>	5,0626	5,0101	5,0952	5,1315	5,0263	5,0144	<b>6,0064</b>
<b>Índice de consistência</b>	0,01564	0,00253	0,02379	0,03287	0,00657	0,0036	<b>0,00128</b>
<b>Razão de Consistência</b>	0,01396	0,00226	0,02124	0,02935	0,00587	0,00322	<b>0,00103</b>

FONTE: O autor, 2015

A Tabela 5 deve ser lida da seguinte forma: as colunas 2 a 7 representam os autovetores de cada matriz de comparação paritária dos motivadores, sob a influência de cada categoria de fatores chave. A coluna 8 mostra, em negrito, o autovetor da matriz de comparação paritária dos fatores chave, que possui um elemento a mais do que os outros. As linhas 8, 9 e 10, respectivamente, mostram os autovalores máximos, o índice de consistência e a razão de consistência de cada matriz paritária.

Como as matrizes de comparação paritárias ou eram de ordem 5 ou 6, utilizaram-se, para cálculo das razões de consistência, os índices de consistência tabelados (SAATY, 2008) de 1,12 e 1,24, respectivamente. A literatura recomenda que a razão de consistência dessas matrizes seja no máximo 0,1, resultado atingido para todas as matrizes deste trabalho.

Realizou-se, então, a análise de sensibilidade dos dados obtidos, calculando-se a diferença máxima de prioridade conforme explicitado na Subseção 2.6.2. A Tabela 6 mostra a sensibilidade dos julgamentos dos especialistas, para cada par de motivadores estratégicos para implementação de SG.

TABELA 6 - SENSIBILIDADE DOS JULGAMENTOS DO AHP QUANTO À INVERSÃO DE ORDEM DOS MOTIVADORES

Influência da categoria	Diferença mínima de prioridade entre motivadores									
	M12	M13	M14	M15	M23	M24	M25	M34	M35	M45
<b>Des. técnico</b>	1,93	0,36	0,43	0,29	0,80	0,68	0,95	0,51	0,45	0,50
<b>Des. econômico</b>	3,85	0,45	4,34	0,44	1,13	4,10	1,58	-0,85	0,45	-3,47
<b>Sustentabilidade</b>	3,37	-0,17	0,76	0,26	-0,62	1,20	1,03	0,16	-0,07	1,52
<b>Qualidade</b>	0,31	0,34	0,84	-0,42	0,32	0,46	0,46	0,0	0,13	0,48
<b>Segurança</b>	0,70	1,63	3,96	-0,20	0,86	1,25	4,31	0,0	0,17	0,63
<b>Regulação</b>	0,0	0,35	1,44	0,22	1,12	2,71	1,17	-1,27	0,90	-3,44

FONTE: O autor, 2015

Este resultado é interessante pois mostra aquilo que a literatura coloca como sendo uma constante para projetos de SG: os objetivos do projeto – ou seja, o que motiva as distribuidoras a implementarem SG – possuem sensibilidade significativa às características específicas de cada implementação. No modelo proposto nesta dissertação, estas características são representadas pelos fatores chave de



implementação de SG, selecionados da literatura, categorizados e validados por especialistas por meio do método Delphi.

Dessa forma, por representar uma maior susceptibilidade da inversão de ordem dos motivadores caso haja uma mudança na avaliação dos fatores chave de implementação pelos especialistas, a resposta fornecida pelo modelo proposto está de acordo com o que se espera para projetos desta natureza: que a cada novo projeto avaliado, os motivadores estratégicos da distribuidora se alterarão.

Para determinar, por fim, a hierarquia dos motivadores para o Projeto Paraná *Smart Grid*, deve-se multiplicar a matriz formada pelos autovetores das matrizes paritárias dos motivadores, de acordo com cada categoria de fatores chave, pelo autovetor da matriz paritária de fatores chave. Na Tabela 5, a matriz formada pelas linhas 2 a 6 e colunas 2 a 7 é multiplicada pelo autovetor da coluna 8. O resultado desta operação matricial é mostrado na Tabela 7.

TABELA 7 - HIERARQUIZAÇÃO DOS MOTIVADORES ESTRATÉGICOS PARA O PROJETO PARANÁ *SMART GRID*

Motivador estratégico	Ranking final
Aumento da eficiência energética	0,20
<b>Melhoria da qualidade do sistema</b>	<b>0,23</b>
Crescimento sustentável	0,19
Oferta de novos serviços	0,17
Facilidade de operação	0,20

FONTE: O autor, 2015

De acordo com a Tabela 7, tem-se que o motivador estratégico mais relevante para o projeto é melhoria da qualidade do sistema. Este resultado, fornecido pela aplicação do método do AHP, serve de entrada para o MCDA-C, a fim de se construir uma função de valor específica que descreve, quantitativamente, o que a distribuidora dona do projeto considera que seja “melhoria da qualidade do sistema”. Essa função mapeia a situação atual do projeto e quais são os melhores caminhos para efetivamente alcançar uma melhor qualidade do sistema.

A partir dessa função, criam-se possibilidades de ação com o intuito de aumentar o desempenho esperado do projeto, com foco em atender o motivador identificado como mais relevante, fornecendo um *roadmap* para atingir esse objetivo.

#### 4.4 APLICAÇÃO MÉTODO MCDA-C

De acordo com o resultado da seção anterior, inicia-se a aplicação do MCDA-C. O intuito é construir, em conjunto com a distribuidora dona do projeto sendo avaliado, um *roadmap* que permita avaliar o *status quo* do Projeto Paraná *Smart Grid*, bem como identificar as melhores possibilidades de ação para melhorar o desempenho desse projeto.

Para a aplicação deste método, conforme descrito na Subseção 2.6.3, foram realizadas entrevistas presenciais ou remotas com os gerentes do projeto piloto da COPEL, caso de estudo desta dissertação. O MCDA-C é dividido em três fases principais, sendo que os resultados de cada uma delas são mostrados nas subseções a seguir.

##### 4.4.1 Fase de estruturação

Esta fase inicia-se definindo o contexto decisório e identificando os envolvidos no processo. Também se define um rótulo para o problema a ser tratado. Neste caso, conforme identificado pelo uso do AHP, definiu-se como rótulo do problema a “melhoria da qualidade do sistema”, na área de abrangência do projeto estudado. Assim, um facilitador (pesquisador autor deste trabalho) em conjunto com gerentes (decisores) da COPEL, distribuidora de energia responsável pelo projeto em análise, buscaram estabelecer um caminho replicável para análise e gestão de projetos de SG.

Neste caso, como primeira aplicação do modelo, o contexto é a própria avaliação do projeto Paraná *Smart Grid*. Entende-se que o modelo pode ser utilizado para avaliar qualquer projeto, enfatizando a gestão destes. Como descrito nas Seções 1 e 2, há dificuldades inerentes em se gerir projetos desta natureza, que incluem particularidades regionais e muitas vezes possuem objetivos distintos e agentes com

interesses conflitantes. Por isso a abordagem construtivista do MCDA-C é apropriada para criação de um *roadmap* único de cada projeto.

Após definição do contexto, partiu-se para a criação da Árvore dos Pontos de Vista, estrutura que hierarquiza os parâmetros que descrevem (descritores) o que é a qualidade do sistema. Para criar esta estrutura, necessitam-se definir os Elementos Primários de Avaliação (EPA) e agrupá-los. Lembrando que um EPA é uma propriedade ou característica do problema a ser estudado, no caso, propriedades da qualidade de energia em SG.

Por sugestão dos decisores, utilizou-se como base para a Árvore dos Pontos de Vista os parâmetros de qualidade de energia já definidos pela ANEEL, no documento “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) – Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica” (ANEEL, 2014). Trata-se de um relatório técnico que estabelece os procedimentos relativos à qualidade da energia que todas as distribuidoras no Brasil devem seguir.

O PRODIST divide a qualidade de energia em qualidade do produto e qualidade do serviço, definindo parâmetros e valores de referência para cada uma delas. Dessa forma, utilizaram-se estes parâmetros e seus valores de referência como boa parte dos descritores que iriam compor a Árvore dos Pontos de Vista.

Entretanto, como o documento não especifica parâmetros exclusivos para SG, os decisores e o facilitador optaram por criar novos descritores que contemplassem aspectos relativos unicamente às redes elétricas inteligentes, além dos advindos do PRODIST. A criação destes descritores se deu conforme explicitado na Subseção 2.6.3. Inicialmente definiram-se novos EPA, bem como seus conceitos duais. Estes conceitos definem cada EPA por meio da sua caracterização positiva e a sua oposta. O resultado desta etapa pode ser visto no Quadro 10.

#	EPA	Conceitos duais
1	Resposta rápida a reclamações técnicas de clientes	Identificação do problema e envio de parecer técnico rapidamente...demora para identificar ou enviar parecer técnico
2	Tarifação automática	Cliente possui tarifação remota...precisa de leiturista para tarifação
3	Disponibilizar informações do consumo	Disponibilizar informações em tempo real...informações somente com a fatura mensal

QUADRO 10 – ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO PARA QUALIDADE DE ENERGIA EXCLUSIVOS DE SG - continua

4	Possibilidade de novos serviços	Oferecer novos serviços para toda a área de abrangência do projeto...oferecer serviços apenas para alguns consumidores
5	Meios para os clientes controlarem consumo	Informação disponibilizada de fácil entendimento e manipulação pelo cliente...não dispor de meios para o cliente monitorar seu consumo
6	Executar funcionalidades da SG via <i>internet</i>	Acesso aos serviços e informações relevantes via <i>internet</i> ...informações disponíveis apenas via central de operações e comunicação direta com o cliente
7	Possibilidade de troca de informação <i>off the grid</i>	Comunicação não dependente de um único canal...indisponibilidade de troca de informação no caso de falta
8	Engajamento do público	Adesão voluntária à rede inteligente...desconhecimento do projeto e de pertencer à sua área de abrangência

QUADRO 10 – ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO PARA QUALIDADE DE ENERGIA EXCLUSIVOS DE SG - conclusão

FONTE: O autor, 2015

O próximo passo para criação de novos descritores é agrupar os EPA semelhantes através do processo de clusterização. Aqui, buscou-se identificar quais elementos eram meios para atingir o que se desejava analisar, e quais eram fins a serem atingidos. Neste caso, os fins poderiam ser ou qualidade do produto ou do serviço de distribuição de energia elétrica. O resultado do agrupamento foi que os EPA 1, 2, 3, 5, 6 e 7 eram relativos à troca de informações com o cliente. Já os EPA 4 e 8 diziam respeito à abrangência do projeto.

O fim do processo de clusterização deu-se com a criação de dois novos descritores para a qualidade do serviço: um para o tempo necessário para envio/recebimento de mensagens entre distribuidora e clientes; e outro para o número de clientes com medição inteligente. Este contempla os EPA 4 e 8, no sentido de verificar se a distribuidora tem capacidade de ofertar novos serviços de SG, sejam eles quais forem, de modo igual a todos os clientes na área de abrangência. Também, se os clientes estão cientes de que poderiam dispor de serviços diferenciados, relativos ao seu consumo de energia.

O descritor para o tempo de troca de informações, intitulado “comunicação bilateral com o consumidor”, contempla os outros EPA. Como neste momento de implantação do projeto o teor das informações e o meio para sua troca ainda não são as maiores preocupações da distribuidora, avaliar o tempo de troca de informações é relevante para identificar a capacidade de resposta rápida às demandas de controle,

automação e novos serviços que porventura venham a existir com futuras aplicações nessa SG.

Este segundo descritor (comunicação bilateral com o consumidor) poderia, em um momento futuro, ser expandido em outros descritores, a partir do momento em que se soubesse e tivessem bem definidos quais informações seriam disponibilizadas aos consumidores. Vale ressaltar que o teor das informações vai depender de quais serviços a distribuidora deseja ou está apta a prestar.

Os dois novos descritores criados foram adicionados ao PVF da qualidade do serviço, uma vez que a qualidade do produto é independente da rede ser uma SG ou uma rede convencional. Assim, os parâmetros do PRODIST são universais neste aspecto.

Para finalizar a Fase de Estruturação do problema, definiram-se as escalas e os níveis de ancoragem de cada descritor. O resultado dessa primeira fase é mostrado no Quadro 11, a Árvore dos Pontos de Vista para a melhoria da qualidade do sistema abrangido pelo projeto caso de estudo desta dissertação.

Melhoria qualidade do sistema											
Qualidade do produto						Qualidade do serviço					
Tensão em regime permanente	Fator de potência (fp)	Harmônicos	Desequilíbrio de tensão	Flutuação de tensão	Variação de frequência	NÍVEL DOS DESCRITORES	Tempo médio de atendimento a emergências (tmae)	Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC)	Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC)	Número de consumidores com medição inteligente	Comunicação bilateral com o consumidor
tensão entre 116 e 133V	fp entre 0,96 e 1,0 (indutivo)	distorção harmônica total inferior a 4%	desequilíbrio inferior a 1%	flutuação a 0,8 p.u./FT	frequência entre 59,9 e 60,1 Hz	EXCELÊNCIA	tmae inferior a 100 minutos	DEC relativo inferior a 1,0	FEC relativo inferior a 0,7	mais de 80% dos consumidores da área de abrangência	intervalo de tempo inferior a 1 dia
tensão entre 109 e 116V ou entre 133 e 140V	fp entre 0,92 e 0,95 (indutivo)	distorção harmônica total entre 4 e 10%	desequilíbrio entre 1 e 2%	flutuação entre 0,8 e 1,6 p.u./FT	frequência acima de 63,5 ou abaixo de 58,5 Hz	COMPETITIVO	tmae entre 100 e 140 minutos	DEC relativo entre 1,0 e 1,3	FEC relativo entre 0,7 e 0,8	entre 40 e 80% dos consumidores da área de abrangência	intervalo de tempo entre 1 e 7 dias
tensão inferior a 109V ou superior a 140V	fp abaixo de 0,92 (indutivo)	distorção harmônica total superior a 10%	desequilíbrio superior a 2%	flutuação superior a 1,6 p.u./FT	frequência acima de 66 ou abaixo de 56,5 Hz	COMPROMETEDOR	tmae superior a 140 minutos	DEC relativo superior a 1,3	FEC relativo superior a 0,8	menos de 40% dos consumidores da área de abrangência	intervalo de tempo superior a 7 dias

QUADRO 11 - ÁRVORE DOS PONTOS DE VISTA DO MCDA-C

FONTE: O autor, 2015

A estruturação do problema, mostrada no Quadro 11, possui dois níveis hierárquicos para a qualidade do sistema. O primeiro divide a qualidade em qualidade do produto e do serviço, e o segundo contém os descritores propriamente ditos (terceira linha do Quadro 11). À exceção dos descritores das duas últimas colunas, criados em conjunto com os decisores do projeto, todos os outros são advindos do PRODIST – Módulo 8 (ANEEL, 2014).

Sendo assim, a Árvore dos Pontos de Vista possui dois Pontos de Vista Fundamentais (PVF), que são a qualidade do produto e a do serviço. Cada um destes possui um conjunto de descritores (seis e cinco, respectivamente), ancorados em três níveis. Esta será a base para avaliação do projeto, próxima fase do MCDA-C. Entretanto, alguns comentários devem ser feitos antes de se prosseguir com os resultados da avaliação.

Aqui, propôs-se uma pequena alteração no modo convencional de se aplicar o MCDA-C, que sugere que se estabeleçam níveis “bom” e “neutro” para os descritores. Como o PRODIST prevê três níveis de desempenho para a maioria dos seus parâmetros, a ancoragem dos descritores foi feita sempre em três níveis: excelência, competitivo e comprometedor. Outro aspecto interessante é o fato de que os níveis dos descritores já possuem escalas quantitativas nesta etapa.

Isto porque o PRODIST já prevê quais são os níveis aceitáveis para a qualidade do sistema, seja ele uma rede elétrica convencional ou uma SG. Dessa forma, optou-se por também definir, ainda nesta etapa, escalas quantitativas para os dois novos descritores criados. Por motivos de padronização da análise, mantiveram-se três níveis de desempenho também para estes novos descritores.

#### 4.4.2 Fase de avaliação

Apesar da ancoragem dos níveis de desempenho não ter sido feita da forma convencional, não há perdas para a fase de avaliação. Isto por duas razões: primeiramente, pois não se deixou de estipular diferentes níveis de desempenho. Depois, porque não se utilizará o *software* pago que realiza automaticamente o cálculo das funções de valor específicas para cada descritor. Preferiu-se criar uma planilha para tal operação, respeitando a forma de tratamento dos dados proposto pelo MCDA-C, uma vez que existem editores de planilhas de livre acesso. Dessa forma, a

ancoragem em apenas dois níveis, “bom” e “neutro”, não se faz necessária, desde que existam diferentes níveis de desempenho.

A fase de avaliação possui três etapas, sendo a primeira a avaliação da diferença de atratividade na passagem de um nível de desempenho superior a outro, inferior. Nesta etapa, perguntou-se aos decisores qual o impacto negativo em se passar do nível de excelência para o competitivo, e do competitivo para o comprometedor, para cada um dos onze descritores do Quadro 11. A escala utilizada para esta avaliação vai de zero a seis, conforme mostrado na Subseção 2.6.3.

Também nesta etapa, foi solicitado aos decisores que dissessem em qual dos três níveis de desempenho cada descritor encontra-se atualmente, na região de abrangência do projeto analisado. Esta pergunta serve para medir o *status quo* do projeto, e suas respostas serão utilizadas posteriormente para cálculo da performance global do projeto. A Figura 15 mostra o resultado desta etapa para um dos descritores avaliados.

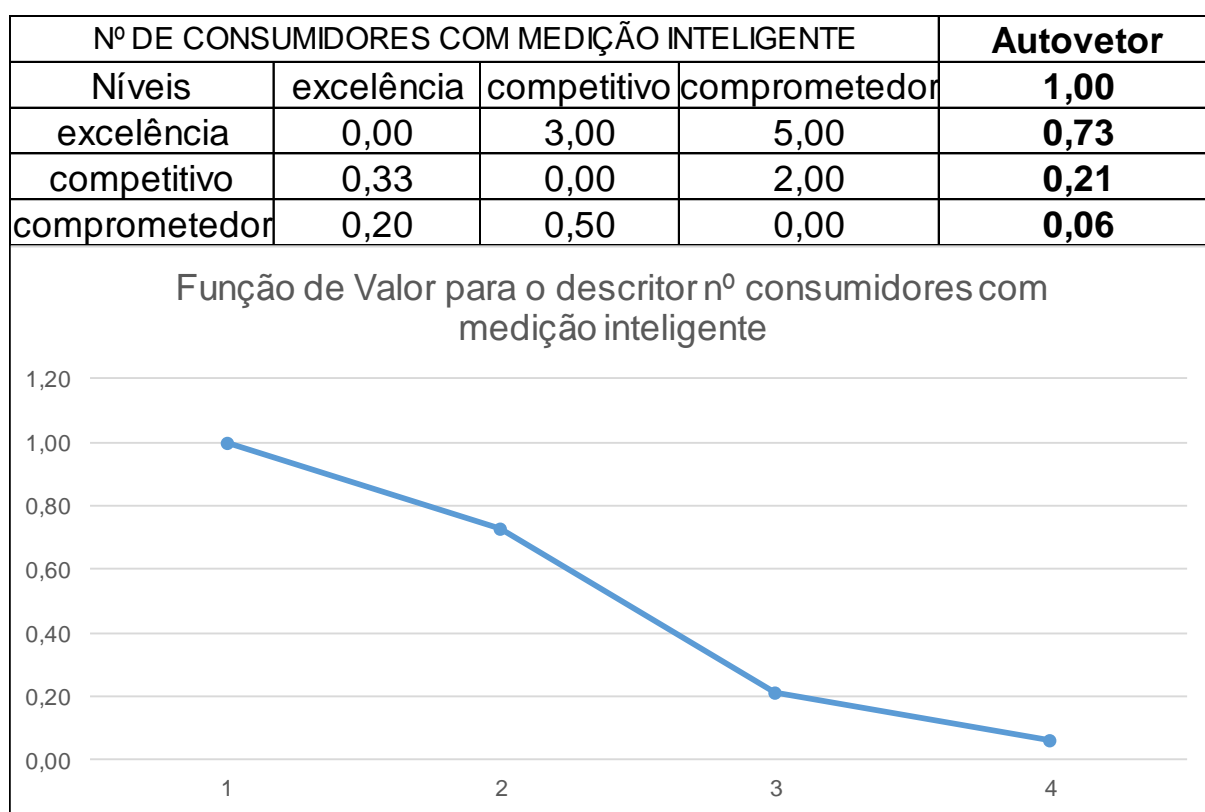


FIGURA 15 - MATRIZ DE JULGAMENTOS SEMÂNTICA E FUNÇÃO DE VALOR PARA O DESCRITOR Nº CONSUMIDORES COM MEDIÇÃO INTELIGENTE

FONTE: O autor, 2015



Nesta etapa da análise, de diferença de atratividade entre mudanças no nível de desempenho dos descritores, as respostas fornecidas pelos decisores são organizadas em uma matriz quadrada, como pode-se verificar pela parte superior da Figura 15. Um valor “três” no cruzamento entre os níveis “excelência” e “competitivo” significa que os decisores avaliaram como “moderado” o impacto em se passar do maior para o nível intermediário. Já para a passagem do nível “competitivo” para o “comprometedor”, o impacto foi considerado “fraco”. A soma desses julgamentos resulta no impacto da passagem do nível mais alto para o mais baixo.

O cálculo do autovetor direito (normalizado), também pelo método das potências, desta matriz quadrada, resulta na função de valor para o descritor analisado. Na Figura 15, parte inferior, está o gráfico deste autovetor, no qual o eixo horizontal indica os quatro níveis possíveis de desempenho, e o eixo vertical mostra o quanto o desempenho seria atenuado caso o descritor fosse piorando. Quanto maior a inclinação da reta desta função, maior o impacto deste descritor para o seu PVF.

O eixo horizontal contém quatro pontos pois considerou-se que o valor unitário (1,0) seria o desempenho quando o descritor se encontra no nível de excelência. O segundo ponto equivaleria à nota do descritor no nível competitivo e o terceiro à nota do nível comprometedor. Na escala adotada não se considerou uma nota zero, pois, no caso da qualidade do atendimento, mesmo se um descritor possuir desempenho pior do que o nível comprometedor, o serviço ainda estaria sendo prestado. Entretanto, a distribuidora poderá vir a pagar multas pela falta de qualidade.

Na segunda etapa da Fase de Avaliação calcularam-se as taxas de substituição para cada nível da Árvore dos Pontos de Vista (Quadro 11). As taxas de substituição representam a relevância de cada parâmetro em seu nível, dentro da hierarquia construída. Por exemplo, para a qualidade do produto, a tensão em regime permanente poderia ser mais relevante do que a flutuação de tensão; e para a qualidade do sistema como um todo, a qualidade do serviço poderia ser menos relevante do que a qualidade do produto.

Para tal, perguntou-se aos decisores qual era a relevância, em uma escala de 1 a 5 (*Likert*), de cada descritor para o seu PVF, e de cada PVF para o rótulo do problema. O resultado final foi obtido calculando-se a média geométrica das avaliações dos decisores. Por exemplo, a relevância do tempo médio de atendimento a emergências foi 5 para a qualidade do serviço, e a qualidade do serviço obteve a

mesma nota que a qualidade do produto para o sistema como um todo. Optou-se por utilizar uma escala *Likert* de cinco pontos por ser mais rápido e prático para uma entrevista, além de que, neste caso, preferiu-se considerar que os descritores poderiam ter relevâncias iguais.

As respostas destas perguntas *Likert* são normalizadas para representarem uma porcentagem, que são as taxas de substituição propriamente ditas. O resultado da fase de avaliação (funções de valor e taxas de substituição) é mostrado no Quadro 12.

MELHORIA DA QUALIDADE DO SISTEMA											
PVF1 - QUALIDADE DO PRODUTO (50%)						Nível de desempenho	PVF2 - QUALIDADE DO SERVIÇO (50%)				
tensão em regime permanente	fator de potência	harmônicos	desequilíbrio de tensão	flutuação de tensão	variação de frequência		TMAE	DEC	FEC	Nº de consumidores com medição inteligente	comunicação bilateral com o consumidor
100%	100%	100%	100%	100%	100%	Excel.	100%	100%	100%	100%	100%
63%	59%	63%	59%	65%	71%	Competit.	69%	59%	59%	73%	50%
32%	34%	32%	28%	27%	27%	Compromet.	29%	32%	32%	21%	35%
5%	7%	5%	13%	8%	2%	Abaixo	2%	9%	9%	6%	15%
100%	59%	63%	100%	100%	100%	Status quo	69%	59%	59%	21%	35%
17%	17%	18%	11%	11%	27%	Taxas substituição	26%	26%	26%	13%	9%

QUADRO 12 - RESULTADOS DA FASE DE AVALIAÇÃO PARA TODA A ESTRUTURA DO MCDA-C

FONTE: O autor, 2015

Estes resultados, compilados no Quadro 12, são os mais importantes da aplicação do MCDA-C, constituindo o *roadmap* único que se desejava obter para o projeto avaliado. O Quadro 12 disponibiliza aos tomadores de decisão uma quantidade significativa de informação sobre o projeto avaliado, de forma organizada e de fácil visualização.

Trata-se de uma representação visual prática que permite identificar o quanto cada parâmetro é importante para o objetivo de melhorar a qualidade do sistema. Além disso, mostra qual o nível de desempenho atual do projeto em cada um desses parâmetros. Assim, os decisores podem propor ações direcionadas para os parâmetros que são mais relevantes para o objetivo geral do projeto, caso ele encontre-se em um nível baixo de desempenho.

A última etapa da Fase de Avaliação serve para calcular uma nota total do projeto, levando em conta os autovetores das matrizes de julgamentos semânticos, nível atual dos descritores e as taxas de substituição. Utilizando-se a Equação 5,

calculou-se, então, a nota total do projeto. O cálculo é mostrado na Equação 7, para o qual utilizaram-se os dados quantitativos do Quadro 12.

$$\begin{aligned} \text{Nota total} &= 0,5 * (1 * 0,17 + 0,7 * 0,17 + 0,7 * 0,18 + 1 * 0,11 + 1 * 0,11 + 1 * 0,27) + 0,5 * \\ & (0,69 * 0,26 + 0,59 * 0,26 + 0,59 * 0,26 + 0,21 * 0,13 + 0,35 * 0,09) = 0,43 + 0,26 = 0,69 \end{aligned} \quad (7)$$

A nota total é um número adimensional para o desempenho do projeto avaliado, sendo que sua escala é de zero a 1,0. Neste caso, o projeto *Paraná Smart Grid* atingiu uma nota de 0,69, que indica um bom desempenho, mas ainda há oportunidades de melhoria. A ideia por trás desta nota é poder comparar tanto um mesmo projeto várias vezes, em períodos de tempo diferente, quanto projetos diferentes. Por mais que a estrutura e os descritores de projetos diferentes possam mudar, a escala de avaliação é sempre a mesma. Assim, independentemente do motivador mais relevante de um projeto sendo avaliado, seu desempenho pode ser comparado com o de outros projetos seguindo a mesma lógica e escala de comparação.

Na Equação 7, a terceira igualdade representa as notas de cada PVF separadamente. A qualidade do produto atingiu uma nota de 0,43 e a do serviço de 0,26, sendo que as máximas para ambos é de 0,5, devido às taxas de substituição estabelecidas.

Entretanto, apenas analisar estas notas separadamente não permite aos decisores dizer qual caminho deve ser seguido para aumentar o desempenho do projeto. Por isso comentou-se que os resultados do Quadro 12 são os mais relevantes obtidos com o MCDA-C, pois busca-se tomar decisões com base no *roadmap* do projeto.

Para a próxima fase, de recomendações, leva-se em conta não apenas os descritores que se encontram com nível de desempenho comprometedor. Também é interessante pensar em ações de melhoria para os descritores que causem maior impacto para a melhoria o desempenho, mesmo se este já se encontra em um nível superior de desempenho.

#### 4.4.3 Fase de recomendações

Esta fase possui duas etapas, com o intuito de propor possibilidades de ação para melhorar o desempenho do projeto, caso as ações sejam postas em prática. Antes, porém, é realizada uma análise de sensibilidade das taxas de substituição dos descritores. Realizada conforme descrita na Subseção 2.6.3, calcularam-se novas taxas de substituição, por meio da Equação 6. Os resultados são mostrados na Tabela 8.

TABELA 8 – NOVAS TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO APÓS REAJUSTE DA MAIS RELEVANTE

<b>Descritores</b>	<b>Taxa de substituição original</b>	<b>Nova taxa (variação da original para mais)</b>	<b>Nova taxa (variação da original para menos)</b>
<b>Tensão em regime permanente</b>	17%	16%	19%
<b>Fator de potência</b>	17%	16%	17%
<b>Harmônicos</b>	18%	18%	18%
<b>Desequilíbrio de tensão</b>	11%	10%	11%
<b>Flutuação de Tensão</b>	11%	10%	11%
<b>Variação de frequência</b>	27%	25%	27%
<b>TMAE</b>	26%	23%	25%
<b>DEC</b>	26%	26%	28%
<b>FEC</b>	26%	26%	28%
<b>Nº de consumidores com medição inteligente</b>	13%	13%	14%
<b>Comunicação bilateral com o consumidor</b>	9%	9%	10%

FONTE: O autor, 2015

Para efetivamente analisar a robustez das taxas de substituição, calculam-se novas notas totais do projeto, agora com as taxas de substituição reajustadas. Considera-se que as taxas são robustas se não houver inversão na ordem das notas individuais de cada PVF. Os resultados das notas individuais encontram-se na Tabela 9.

TABELA 9 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE MCDA-C

PVF	Nota individual original	Nota individual com reajuste para mais	Nota individual com reajuste para menos
Qualidade do produto	0,43	0,41	0,44
Qualidade do serviço	0,26	0,24	0,26

FONTE: O autor, 2015

Analisando-se a Tabela 9, percebe-se que as taxas originais são robustas, pois não houve variação na ordem das notas entre PVF, ou seja, a qualidade do serviço continuou, em ambos os casos, como tendo um desempenho pior do que a qualidade do produto.

Na segunda etapa da fase de recomendações solicitou-se aos decisores que enumerassem as principais dificuldades atualmente para se melhorar o desempenho do projeto analisado. Também, com base no *roadmap* obtido com o MCDA-C, quais ações deveriam ser tomadas para aumentar a nota total do projeto. Dando suporte para a tomada de decisão, o Quadro 12 ilustra que o aspecto principal do comprometimento do desempenho é a qualidade do serviço. Principalmente os descritores que tratam de exclusividades de SG.

Quanto a este aspecto, os decisores ressaltaram que, comparativamente à qualidade do serviço, as tecnologias e sistemas de SG ainda tem um custo impeditivo para aplicação no Brasil, no que diz respeito aos descritores da qualidade do produto. Assim, as recomendações sugeridas pelos decisores foram as seguintes:

- a. melhorar o processo de instalação de medidores inteligentes de água e gás (medição compartilhada). O ritmo de instalação de medidores inteligentes de água e gás é mais lento do que o dos medidores de energia, devido ao custo dos equipamentos;
- b. desenvolver uma plataforma que permita o acesso dos consumidores aos dados de medição de energia;
- c. desenvolver um sistema multicamada de reconfiguração de redes, a fim de elevar a confiabilidade do sistema;
- d. cruzar informações de uma central de medição inteligente com as de um *distribution management system*, a fim de aumentar a assertividade da localização de defeitos;

- e. aplicar de técnicas de *business intelligence*, cruzando dados de consumo e infraestrutura do sistema, para promover um crescimento do sistema com maior previsibilidade. Esta ação visa mitigar riscos correlatos ao crescimento vegetativo das cargas;
- f. melhorar o monitoramento da atuação do sistema;
- g. antecipar a ampliação dos sistemas em outros bairros.

Percebe-se que as recomendações dos decisores, agora embasadas no *roadmap* do Quadro 12, possuem tanto focos amplos, como é o caso das recomendações “f” e “g”, quanto específicos, recomendações “a”, “d” e “e”. Também que algumas visam atender especificamente os descritores com pior desempenho identificado pelo MCDA-C, ao passo que outras utilizam conhecimento gerado durante a implementação e avaliação do caso estudado para projetar ações de melhoria em iniciativas futuras.

No caso específico das recomendações “d”, “e” e “f”, os decisores sugerem o uso combinado de sistemas de reconfiguração descentralizados (decisão local dos equipamentos sem cruzamento de informações), semi-centralizados (decisão regionalizada dos equipamentos com cruzamento de informações em microrregiões) e centralizados (decisão global baseada no cruzamento de informações de macrorregiões).

Já para a recomendação “a”, o caminho a ser seguido não é tão claro. Como trata-se de um projeto piloto, identificar o porquê do ritmo de instalação dos medidores inteligentes não estar adequado é crucial para, em próximas implementações, melhorar este descritor. Uma sugestão poderia ser não realizar a medição compartilhada de água e gás, uma vez que o acesso às informações pelo consumidor também é algo que precisa melhorar.

Quanto à recomendação “b”, na Seção 2 comentou-se dos dispositivos como *In Home Displays* – IHD, para verificação rápida de dados pelo consumidor. Uma sugestão para este caso seria desenvolver um IHD próprio da distribuidora, independente das companhias de água e gás, e que permita ao consumidor não só acessar seus dados de consumo, mas também entrar em contato com a distribuidora e vice-versa. Este dispositivo poderia, eventualmente, conectar-se via *internet* com celulares dos consumidores, permitindo acesso remoto aos dados e uma troca de

informações mais rápida, elevando o nível do desempenho do último descritor de “comprometedor” (nível atual) para níveis melhores.

Em outras palavras, é interessante notar que as recomendações levantadas durante a fase final do MCDA-C não necessariamente possuem um caminho já definido para serem postas em prática. Os decisores, nesta etapa, determinam quais aspectos são os mais prioritários a fim de se atingir melhores níveis de desempenho do projeto. Mas também há casos em que o caminho a ser seguido já pode ser delineado com maior clareza. De qualquer forma, o formato da avaliação e as respostas obtidas com a aplicação do modelo proposto proporcionaram uma base sólida para facilitar o processo de tomada de decisão dos gerentes do projeto.

Assim encerra-se a aplicação do MCDA-C neste estudo de caso. Alguns comentários se fazem necessários ao final desta seção. O método é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, ou seja, não apresenta soluções prontas para serem aplicadas em todos os casos. Por exemplo, pode ser que os decisores prefiram trabalhar com possibilidades de ação para melhorar o desempenho do descritor “fator de potência”, ao invés de tentar elevar o desempenho do descritor “nº de consumidores com medição inteligente”. Isto pois, apesar do segundo descritor estar com um desempenho pior, ele é menos relevante do que o primeiro para a qualidade do sistema como um todo. Esta comparação é feita observando-se as taxas de substituição de cada descritor.

Outro comentário pertinente é que, conforme previsto pela estrutura do MCDA-C, o *roadmap* do Quadro 12 pode sempre ser atualizado, incluindo ou excluindo descritores ou criando novos níveis hierárquicos, por exemplo. Esta flexibilidade de análise é necessária para avaliar projetos de SG, que podem ter novas funcionalidades sendo implementadas com o passar do tempo. A possibilidade de avaliações periódicas utilizando-se a mesma estrutura também é ponto positivo desta abordagem.

Deve-se ressaltar que a principal contribuição do método ao objetivo de avaliar o desempenho de projetos de SG é a criação de um *roadmap* único do projeto avaliado, contextualizado para a realidade da distribuidora dona do problema. Por fim, observa-se que, caso os resultados obtidos com o AHP tivessem sido diferentes, por exemplo apontando que o motivador estratégico mais relevante para o projeto fosse o “crescimento sustentável”, o *roadmap* construído seria diferente. Ou seja, os

resultados do MCDA-C e esta análise mais minuciosa do desempenho do projeto em si seriam outros. Esta propriedade é a adaptabilidade que esperava-se obter com o modelo proposto.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além das conclusões sobre a pesquisa, esta seção apresenta sugestões para trabalhos futuros, como continuação do tema aqui pesquisado. O objetivo geral desta dissertação era propor um modelo para avaliar projetos de implementação de SG. Acredita-se que o objetivo foi atingido, sendo que a Figura 14 resume de maneira visual a modelagem do problema, que é avaliar o desempenho de projetos de SG.

Para se chegar ao resultado da modelagem, realizou-se uma revisão sistemática exaustiva, pois sentiu-se a necessidade de examinar de que maneira outros pesquisadores já haviam explorado o problema. Também, por que ainda existem dificuldades em se implementar e desenvolver projetos desta natureza. Como pontuado na introdução, grande parte desta dificuldade vem da interdisciplinaridade da área, da não existência de soluções únicas e prontas (devido a particularidades regionais), da substituição de tecnologias e topologias sem possibilidade de desativar o sistema existente, da participação de agentes com interesses conflitantes e das implicações regulatórias e mercadológicas para o setor, aspectos inerentes às SG.

Dessa forma, com a revisão sistemática, percebeu-se que há problemas em delimitar o escopo da análise do desempenho desses projetos, não havendo um consenso de quais indicadores são essenciais, qual o nível de complexidade adequado para a análise, como classificar estes indicadores e como integrar aspectos qualitativos e quantitativos na análise. Por essas razões que se entende que a nova abordagem proposta para esta avaliação de desempenho, utilizando métodos multicritério de apoio à tomada de decisão, é inovadora e adequada ao problema.

Três métodos foram utilizados, o primeiro, Delphi, para confirmar os parâmetros selecionados da literatura por meio da revisão sistemática. Esta etapa da pesquisa serviu como uma validação da revisão sistemática, confirmando com especialistas o que a literatura apresentou como estado da arte sobre o tema. Os especialistas foram selecionados por meio de critérios extraídos do NIST, organização federal estadunidense que trabalha com a indústria para desenvolver e aplicar novas tecnologias.

Os outros dois métodos foram escolhidos para efetivamente modelar o problema (AHP e MCDA-C), pois possuem estruturas lógicas e de tratamento de dados bem definidas, que contemplam a avaliação tanto de aspectos quantitativos

mais gerais do problema estudado (fatores-chave e razões do porquê as distribuidoras devem investir em SG), quanto qualitativos, relativos à realidade única de cada distribuidora (capacidade e desempenho atual, além de diretrizes estratégicas de cada organização). Assim, compreende-se que as respostas dadas por eles são de grande valia para uma melhor tomada de decisão sobre a implementação de SG.

Com a criação de instrumentos de coleta e planilhas para tratamento de dados padrões para o modelo, atingiu-se o segundo objetivo específico deste trabalho (modelar a avaliação de projetos de SG utilizando métodos MCDA). O terceiro objetivo específico foi atendido com a realização de um estudo de caso do projeto-piloto da COPEL, em Curitiba-PR. O intuito deste estudo de caso era avaliar a usabilidade do modelo proposto, e como os resultados gerados pelo modelo poderiam auxiliar à tomada de decisão por parte dos decisores donos do problema.

Os resultados obtidos com o modelo permitiram hierarquizar os principais fatores-chave para implementação de SG no caso estudado. Esta hierarquização dos fatores-chave de implementação de SG é um dos resultados mais proeminentes deste trabalho (apresentado na Tabela 1). Também foi gerado um ranking da melhor alternativa estratégica para o projeto. Esta alternativa foi, então, desdobrada em um *roadmap* que avalia tanto o desempenho atual do projeto quanto enumera possibilidades de ação para aprimorar a sua performance.

Ao organizar de maneira prática o conhecimento do projeto, identificando quantitativamente os pontos de maior impacto para melhoria do desempenho como um todo, o modelo forneceu *insights* valiosos para uma tomada de decisão direcionada sobre a melhor forma de se implementar o projeto em questão, com vistas para atingir seu objetivo principal (discussão apresentada na subseção 4.4.3).

Assim, a abordagem proposta ampara o desenvolvimento de projetos de SG, auxiliando gestores e decisores quanto a algumas das dificuldades encontradas na literatura em se avaliar tais projetos.

Vale ressaltar que o *roadmap* construído em conjunto com os decisores diz respeito ao principal objetivo do projeto, e não a todos os possíveis motivadores deste. Do ponto de vista de gestão de projetos, procurou-se focar nos aspectos mais relevantes de cada implementação, mas compreende-se que as outras alternativas hierarquizadas pelo AHP são deixadas de lado quando da aplicação do MCDA-C.

Aqui, caberia aos decisores optarem por utilizar ou não as demais respostas fornecidas pelo AHP.

Neste ponto, faz-se um questionamento e a primeira sugestão de trabalho futuro. Dependendo da familiaridade dos gerentes do projeto sendo avaliado, o modelo poderia ser rodado somente com a aplicação do AHP, ou somente com a aplicação do MCDA-C. Por exemplo, se para um novo projeto se desejasse, antecipadamente, criar ações apenas para o aumento da eficiência energética na área de abrangência da nova SG, poder-se-ia pular diretamente para a aplicação do MCDA-C, criando descritores para tal e avaliando o desempenho destes.

Ou, ao contrário, no caso de uma implementação mais genérica, na qual não se soubesse qual a melhor estratégia a se seguir. Aqui, poder-se-ia apenas aplicar o AHP, caso se tivesse o conhecimento de como alcançar os objetivos esperados, mas não se soubesse qual a melhor estratégia a ser seguida. Dessa forma, a primeira sugestão de trabalhos futuros seria realizar mais aplicações do modelo proposto, em novos projetos, se valendo dessa sua característica fortemente adaptativa.

Quanto à aplicação específica do MCDA-C, seria interessante criar níveis intermediários de desempenho para os descritores, pois mesmo com uma nota 1,0, em um contexto de SG pode ser que venham a existir, por exemplo, preços diferenciados para serviços com mais qualidade. Entretanto, como isto não é algo em operação atualmente, seria para uma próxima revisão do MCDA-C, que prevê que os descritores podem ser alterados. Esta seria uma segunda sugestão de trabalho futuro: reavaliar o mesmo projeto estudo de caso desta dissertação, daqui a um intervalo de tempo determinado.

Por fim, sugere-se como trabalho futuro aplicar o MCDA-C não somente para o motivador estratégico de SG mais relevante encontrado durante a aplicação do AHP, mas também para outros motivadores, por exemplo, para aqueles que somem 80% da nota do ranking final encontrado pelo AHP (Tabela 7). Assim, se gerariam *roadmaps* para mais motivadores relevantes das SG para o projeto estudado.

## REFERÊNCIAS

- ACHARJEE, P. **Strategy and implementation of Smart Grids in India**. Energy Strategy Reviews, v. 1, n. 3, p. 193–204, 2013
- ANDREN, F.; STRASSER, T.; ROHJANS, S.; USLAR, M. **Analyzing the Need for a Common Modeling Language for Smart Grid Applications**, 11th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2013
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **PRODIST - MÓDULO 8. Procedimentos de Distribuição de Energia no Sistema Elétrico Nacional. Qualidade de Energia Elétrica**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_6\\_Retifica%C3%A7%C3%A3o\\_1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_6_Retifica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf); Acesso em: 25/10/2015. ANEEL, 2014.
- ARNOLD, M., RUI, H., WELLSSOW, W.H. **An Approach to Smart Grid Metrics**. Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition, 2011
- ARRUDA, M. V. N.; OLIVEIRA, R. **Implementação de Projetos de Smart Grid no Brasil**, Sistema de Publicações IFMT-Campus Cuiabá, v. 1, n. 1, 2013
- BALDUCCI, P.J., WEIMAR, M. R., KIRKHAM, H. **Smart Grid Status and Metrics Report Appendices. No. PNNL-23461**. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US), 2014
- BANA E COSTA, C. A. **O que entender por tomada de decisão multicritério ou multiobjetivo**. Florianópolis: ENE - Escola de Novos Empreendedores da UFSC, 1995
- BANA E COSTA, C. A., ENSSLIN, L. (1999). **Decision support systems in action: integrated application in a multicriteria decision aid process**. European Journal of Operational Research, n. 113, p. 315-335, 1999
- BELHOMME, R.; TRANCHITA, C.; VU, A.; MAIRE, J.; HUET, O. **Overview and goals of the clusters of smart grid demonstration projects in France**. Power and Energy Society General Meeting, IEEE, p.1–8, 2011
- BHATT, J.; SHAH, V.; JANI, O. **An instrumentation engineer's review on smart grid: Critical applications and parameters**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 40, p. 1217–1239, 2014
- BHUSHAN, N.; KANWAL, R. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process**, 2004
- BLUMSACK, S.; FERNANDEZ, A. **Ready or not, here comes the smart grid!** Energy, v. 37, n. 1, p. 61–68, 2012

BRANDSTATT, C.; FRIEDRICHSEN, N.; MEYER, R.; PALOVIC, M. **Roles and Responsibilities in Smart Grids: A Country Comparison**. 9th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2012

BRITTO JR., A F.; FERES JR., N. **A utilização da técnica da entrevista em trabalhos científicos**. Revista Evidência, v.7, n.7, pp.237-250, 2011

DE CASTRO, L.; DUTRA, J. **Paying for the smart grid**. Energy Economics, v. 40, p. S74–S84, 2013

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Entenda o modelo brasileiro**. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/setor\\_eletrico?\\_afLoop=410329717193634#%40%3F\\_afLoop%3D410329717193634%26\\_adf.ctrl-state%3Ds8toinh65\\_4](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_afLoop=410329717193634#%40%3F_afLoop%3D410329717193634%26_adf.ctrl-state%3Ds8toinh65_4)>. Acesso em: 09/03/2015

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional**. Documento técnico. nº. 16, 2012

COLLIER, S. E. **Ten steps to a smarter grid**. Industry Applications Magazine, IEEE, v. 16, n. 2, p. 62–68, 2010

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Resumo executivo**. Projeto Paraná *Smart Grid*, 2014

COPPO, M.; PELACCHI, P.; PILO, F. **The Italian smart grid pilot projects: Selection and assessment of the test beds for the regulation of smart electricity distribution**. Electric Power Systems Research, v. 120, p. 136–149, 2015

COSTA, H. G; MOLL, R. N. **Emprego do Método de Análise Hierárquica (AHP) na seleção de variedades de cana de açúcar**. Revista GESTÃO & PRODUÇÃO v.6, n.3, p. 243-256, dez. 1999

CRISPIM, J.; BRAZ, J.; CASTRO, R.; ESTEVES, J. **Smart Grids in the EU with smart regulation: Experiences from the UK, Italy and Portugal**. Utilities Policy, v. 31, n. 0, p. 85–93, 2014

DGRI – Directorate-General for Research & Innovation. **European Technology Platform SmartGrids: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future**, Sustainable Energy Systems, 2006

DOE – Department of Energy, United States. **The Smart Grid: An Introduction**, Washington, DC., 2008

DUARTE, D. P.; MAIA, F. C.; NETO, A. B. **Brazilian Smart Grid Roadmap - An innovative methodology for proposition and evaluation of Smart Grid functionalities for highly heterogeneous distribution networks**. IEEE PES 2nd Latin American Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2013

EISING, J. W.; OONA, T.; ALKEMADE, F. **Towards Smart Grids: the risks that arise from the integration of energy and transport supply chain.** Applied Energy, v. 123, p. 448-455, 2014

ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G., NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas.** Florianópolis: Insular, 2001

ENSSLIN, S. R.; DE CARVALHO, F. N.; GALLON, A. V.; ENSSLIN, L.; **Uma metodologia multicritério (MCDA-C) para apoiar o gerenciamento do capital intelectual organizacional.** Revista de Administração Mackenzie, v. 9, n. 7, 2008

ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. **Tratamento de recursos intangíveis organizacionais.** In: ANGELONI, T. (Org.). Gestão do conhecimento no Brasil: casos, experiências e práticas de empresas públicas. Rio de Janeiro: QualityMark, 2008.

ENSSLIN, S. R.; LIMA, M. V. A. **Apoio à tomada de decisão estratégica: uma proposta metodológica construtivista.** In: ANGELONI, T.; MUSSI, C. C. (Org.). Estratégias, formulação, implementação e avaliação: o desafio das organizações contemporâneas. São Paulo: Saraiva, 2008

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2013-2022).** Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20130117\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20130117_1.pdf)>. Acesso em: 08/03/2015. Rio de Janeiro, 2012

EPRI – Electric Power Research Institute. **Guidebook for cost/benefit analysis of Smart Grids demonstrations projects: Measuring Impacts.** Palo Alto, California, EPRI, 2011

EPRI – Electric Power Research Institute. **IntelliGridSM – Smart Power for the 21st century,** 2005. Disponível em: <[www.epri-intelligrid.com/intelligrid/docs/Intelligrid\\_6\\_16\\_05.pdf](http://www.epri-intelligrid.com/intelligrid/docs/Intelligrid_6_16_05.pdf)>. Acesso em: 22/02/2015

FADAEENEJAD, M.; SABERIAN, A. M.; FADAEI, M. **The present and future of smart power grid in developing countries.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, n. 0, p. 828–834, 2014

FALCÃO, D. M. **Smart grids e microrredes: o futuro já é presente.** Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, v. 8, 2009

FARHANGI, H. **The path of the smart grid.** Power and Energy Magazine, IEEE, v. 8, n. 1, p. 18–28, 2010

FARHANGI, H. **A Road Map to Integration: Perspectives on Smart Grid Development.** Power and Energy Magazine, IEEE, v. 12, n. 3, p. 52–66, 2014

FORMAN, E. H.; SAUL I. G. **The analytical hierarchy process - an exposition.** Operations Research, v. 49, n. 4. p. 469–487, 2001

FREIRE, L. M.; NEVES, E. M. A.; TSUNECIRO, L. I.; CAPETTA, D. **Perspectives of Smart Grid in the Brazilian Electricity Market.** Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), Anais, p.1–4, 2011

FREITAS, H., OLIVEIRA, M., SACCOL, A. Z., MOSCAROLA, J. **O método de pesquisa survey.** Revista de Administração, São Paulo, v.35, n.3, pp. 105-112, 2000

GALO, J. J. M.; MACEDO, M. N. Q.; ALMEIDA, L. A. L.; LIMA, A. C. C. **Criteria for smart grid deployment in Brazil by applying the Delphi method.** Energy, v. 70, p. 605–611, 2014

GELLINGS, C. W. **The smart grid: enabling energy efficiency and demand response.** The Fairmont Press, Inc., 2009

GIGLIOLI, E.; PANZACCHI, C.; SENNI, L. **How Europe is approaching the smart grid.** McKinsey & Company, 2010

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2009

GIORDANO, V.; ONYEJI, I.; FULLI, G.; JIMÉNEZ, M. S.; FILIOU, C. **Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of Smart Grid projects.** JRC Publications Office, 2012

GOLANY B., KRESS M. A **Multicriteria Evaluation of the Methods for obtaining Weights from Ratio-Scale Matrices.** European Journal Operation Research, n. 69, p. 202-210, 1993

GOOGLE IMAGES. **Busca por “smart meters and ihd”.** Disponível em<[www.images.google.com](http://www.images.google.com)>. Acesso em: 03/03/2015

HIGGINS, J. P. T.; GREEN, S. **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**, Version 5.1.0 [updated March 2011], The Cochrane Collaboration, 2011

IEC – International Eletrotechnical Comission. **Smart Grid Strategic Group (SG3): IEC Smart Grid Standardization Roadmap**, 2010

JOSKOW, P. L. **Creating a smarter US electricity grid.** The Journal of Economic Perspectives, p. 29–48, 2012

KAHNEMAN, D., TVERSKY, A. **Choices, values and frames.** Cambridge, UK. Russel Sage Foundation, Cambridge University Press, 2000

KEPNER, C. H., TREGOE, B. B. **The new rational manager: an uptaded edition for a new world.** Updated Edition, New Jersey, Princeton Research Press, 1997

KIM, M., JANG, Y., LEE, S. **Application of Delphi-AHP methods to select the priorities of WEEE for recycling in a waste management decision-making tool.** Journal of Environmental Management, n. 128, p 941-948, 2013

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews.** Joint Technical Report, TR/SE-0401 and NICTA 0400011T.1, Keele University, 2004

LAKATOS E.M, MARCONI, M.A. **Fundamentos de Metodologia Científica.** São Paulo, 2010

LANDRY, M. **A note on the concept of "problem".** Organization Studies, v. 16, n. 2, p. 315-343, 1995.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Relatório Smart Grids.** Grupo de Trabalhos de Redes Elétricas Inteligentes, MME, 2010

LAMIN, H. Análise de impacto regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil. Tese (doutorado). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2013

LIMA, G. P. **Proposta para classificação de modelos de infraestrutura de P&D em incubadora de empresas de base tecnológica com base em características e práticas de gestão da inovação.** Dissertação (mestrado), 159 f., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013

LÓPEZ, G.; MORENO, J. I.; AMARÍS, H.; SALAZAR, F. **Paving the road toward Smart Grids through large-scale advanced metering infrastructures.** Electric Power Systems Research, v. 120, n. 0, p. 194–205, 2015

LUTHRA, S.; KUMAR, S.; KHARB, R.; ANSARI, M. F.; SHIMMI, S. L. **Adoption of smart grid technologies: An analysis of interactions among barriers.** Renewable & Sustainable Energy Reviews, v. 33, p. 554–565, 2014

MACHADO, T. P. S., ENSSLIN, L., ENSSLIN, S. R. **Desenvolvimento de produtos usando a abordagem MCDA-C.** Production, São Paulo, 2015

MARQUES, V.; BENTO, N.; COSTA, P. M. **The “Smart Paradox”: Stimulate the deployment of smart grids with effective regulatory instruments.** Energy, v. 69, p. 96–103, 2014

MCBRIDE, A. J.; MCGEE, A. R. **Assessing smart grid security.** Bell Labs Technical Journal, v. 17, n. 3, p. 87–103, Wiley Online Library, 2012

DE MELO LEITE, L. H.; DE ERRICO, L.; BOAVENTURA, W. DO C. **Criteria for the Selection of Communication Infrastructure Applied to Power Distribution Automation.** 2013 IEEE PES CONFERENCE ON INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES (ISGT LATIN AMERICA), 2013



MUENCH, S.; THUSS, S.; GUENTHER, E. **What hampers energy system transformations? The case of smart grids**. Energy Policy, v. 73, p. 80–92, 2014

NIST – National Institute of Standards and Technology. **What is a “Smart Grid”?**, Collaborate.nist.gov, 2013. Disponível em: <[http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/WebHome#What\\_is\\_a\\_Smart\\_Grid](http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/WebHome#What_is_a_Smart_Grid)>. Acesso em 01/02/2015

OECD – Organisation for Economic Co-Operation and Development. **Smart Sensor Networks**, Technologies and Applications for Green Growth, December, 2009

OMORI, J. S. **Redes Inteligentes - A Experiência da Copel na Automação das Redes de Distribuição de Média Tensão**. XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI. Rio de Janeiro, Brasil, 2012

PERSONAL, E.; GUERRERO, J. I.; GARCIA, A. **Key performance indicators: A useful tool to assess Smart Grid goals**. Energy, v. 76, p. 976–988, 2014

PICA, C. Q.; VIEIRA, D.; DETTOGNI, G. **An overview of smart grids in Brazil: opportunities, needs and pilot initiatives**. ENERGY 2011, The First International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-aware Technologies. Anais, p.93–97, 2011

PMI – Project Management Institute. **The Guide to Project Management Body of Knowledge**, PMBOK® Guide, 5th edition. Project Management Institute, 2012

RASHED MOHASSEL, R.; FUNG, A.; MOHAMMADI, F.; RAAHEMIFAR, K. **A survey on Advanced Metering Infrastructure**. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 63, p. 473–484, 2014

RIBR – Redes Inteligentes Brasil. **Projetos Piloto no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<http://redesinteligentesbrasil.org.br/projetos-piloto-brasil.html>>. Acesso em: 09/03/2015

ROY, B. **Decision science or decision-aid science?** European Journal of Operational Research, v. 8, n. 1, pp. 184-203, 1993

ROSENFELD, M. G. **The Smart Grid and Key Research Technical Challenges**. 2010 Symposium on Vlsi Technology, Digest of Technical Papers, p. 3–8, 2010

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGrawHill Pub. Co., 367pp, 1991

SAATY, T. L. **Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World**. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 2008

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M.C. **Estudos de Revisão Sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Revista Brasileira de Fisioterapia, São Carlos, Vol.11, pp.83-89, 2007

SAND, K.; FOOSNAS, J.; NORDGARD, D. E. **Experiences from Norwegian Smart Grid Pilot Projects**. Electricity Distribution (CIRED 2013), 22nd International Conference and Exhibition on. Anais, p.1–4, 2013

SANTANA, W. C. **Proposta de modelo de desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho logístico**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 151 f. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Industrial, 2004

SHABANZADEH, M., MOGHADDAM, M. P. **What is the Smart Grid? Definitions, Perspectives, and Ultimate Goals**. 28th Power System Conference - Tehran, Iran, 2013

Smart Grid Coordination Group. **Smart Grid Reference Architecture**. Tech. Rep. November, CEN-CENELEC-ETSI, 2012

SUN, Q.; GE, X.; LIU, L. **Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems**. Energy Procedia, v. 12, p. 219–229, 2011

SIOHANSI. **The Need to Get Smarter on Smart Grid Projects: Four Lessons**. The Electricity Journal, v. 23, n. 8, p. 1–3, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619010002356>>. Acesso em: 12/1/2015

TABORS, R. D.; PARKER, G.; CARAMANIS, M. C. **Development of the smart grid: Missing elements in the policy process**. System Sciences (HICSS), 2010 43rd Hawaii International Conference on. Anais, p.1–7, 2010

TOMHAVE, B. L. **Alphabet soup: Making sense of models, frameworks, and methodologies**. George Washington University, 2005

TRACTEL ENERGIA. **Estrutura Institucional do Setor Elétrico Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/negocios/conheca-o-mercado-de-energia/estrutura-institucional-do-setor-eletrico>>. Acesso em 09/03/2015

TRIANAPHYLLOU, E. **Multi-criteria decision-making methods: a comparative study**. Applied optimization, Dordrecht, Netherlands. Kluwer Academic Publishers, 2000

TRIANAPHYLLOU, E.; SÁNCHEZ, A. **A Sensitivity Analysis Approach For Some Deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods**. Decision Sciences, Vol. 28, No. 1, p. 151-194, 1997

USMAN, A.; SHAMI, S. H. **Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 19, p. 191–199, 2013

VIDAL, L. A., MARLE, F., BOCQUET, J. C. **Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects.** Expert Systems with Applications, n. 38, p. 5388-5405, 2011

WILSON, F., PAN, W., SCHUMSKY, D. **Recalculation of the critical values for Lawshe's content validity ratio.** Measurement and Evaluation Council, n. 45, p. 197-210, 2012

## APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO USADO COM O MÉTODO DELPHI

### Composição de parâmetros para avaliar Smart Grids (SG)

Este questionário é parte integrante dos instrumentos de coleta de dados para o desenvolvimento de uma dissertação de mestrado em Engenharia de Produção, com tempo médio de resposta de APENAS 5 MINUTOS. Agradecemos desde já a sua participação!

Elaborado e publicado com autorização e sob orientação de professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, o principal objetivo deste questionário é validar um conjunto de parâmetros, que comporão um modelo para avaliar projetos de implementação de Smart Grids.

Foram selecionados, através de uma revisão sistemática da literatura, alguns parâmetros para avaliar de modo amplo um projeto de Smart Grids em redes de distribuição. A validação dos parâmetros selecionados é feita através do julgamento de especialistas, e é por isso que sua participação é tão importante para nós.

Dois tipos de parâmetros devem ser avaliados neste questionário: CRITÉRIOS DE DESEMPENHO gerais para projetos de SG e MOTIVADORES ESTRATÉGICOS para implementar SG. Estes serão avaliados um a um, e para os primeiros apenas verificar-se-á se suas categorizações estão adequadas. Critérios de desempenho são características gerais inerentes a qualquer projeto de SG, enquanto os motivadores são as razões do porquê desenvolver um projeto desta natureza e os benefícios esperados com o projeto. No caso das Smart Grids, alguns parâmetros são quantitativos e outros qualitativos, porém, neste questionário as respostas são sempre qualitativas, baseadas em sua expertise como especialista.

Embasado no método Delphi para apoio à tomada de decisão, as perguntas deste questionário devem ser respondidas em uma escala de 1 a 5. Os passos do método são os seguintes:

- 1 – O pesquisador envia o questionário aos especialistas para que respondam às perguntas e devolvam ao pesquisador;
- 2 – As respostas de todos os especialistas são analisadas e agrupadas;
- 3 – Caso não se obtenha consenso nas respostas, um novo questionário é enviado aos especialistas, agora com os resultados gerais, para que conheçam as opiniões dos demais e possam rever alguma opinião dada, caso discordante da maioria;
- 4 – Após o recebimento dos questionários pelo pesquisador, uma nova análise é realizada e, se houver consenso ou for atingido um nível satisfatório de informações o processo é encerrado. Caso contrário, repete-se o passo 3.

Normalmente o processo é encerrado na segunda rodada, sendo raras as necessidades de uma terceira rodada. Reforçamos o caráter confidencial da pesquisa sendo realizada, e agradecemos novamente sua colaboração na realização desta pesquisa!

**\*Obrigatório**

#### 1. Diga seu nome, cargo e organização \*

Esta primeira pergunta é apenas por motivos de identificação do respondente, não serão reveladas informações pessoais aos demais entrevistados.

.....

**1. Relativo aos CRITÉRIOS DE DESEMPENHO mostrados nas duas colunas da tabela abaixo, você concorda com a categorização hierárquica estabelecida para eles? \***

Os critérios foram agrupados em 6 categorias (primeira coluna da tabela). O intuito desta pergunta é avaliar se a categorização dos parâmetros está adequada.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo completamente

**2. Se você respondeu 1 ou 2 na pergunta anterior, especifique qual(is) parâmetro(s) você mudaria de categorização, ou se é necessário criar uma nova categoria para classificá-los. \***

Se você respondeu 3 ou mais na pergunta anterior, apenas escrever "ok" no quadro resposta abaixo.

.....

.....

.....

.....

.....

## Parâmetros para avaliar projetos de SG

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS
Desempenho técnico	Demanda do sistema (MW)
	Fator de carga do sistema (%)
	Nível de perdas técnicas (kW)
	Nível de perdas não-técnicas (kW)
	Infraestrutura elétrica (número de subestações e de consumidores atendidos)
	Infraestrutura de telecomunicações (número de sensores para atingimento dos objetivos do projeto)
	Vida útil dos recursos (anos)
	Facilidade de operação (automação, controle remoto, capacidade de isolamento, leituras automáticas)
	Gestão pelo lado da demanda (kW retirados da ponta)
	Potência absorvida através de geração distribuída (capacidade de absorção)
	Integração de tecnologias e sistemas (taxa de falhas durante aquisição ou processamento de dados)
	Ferramentas de suporte (controle de processos para gestão do sistema inteligente)
	Escalabilidade (número de reclamações/número consumidores atendidos)
Desempenho econômico	Faturamento atual do sistema elétrico (R\$)
	Investimento inicial em hardware (medidores, sensores, concentradores - R\$)
	Investimento inicial em software (R\$)
	Custo de operação do sistema (% dos investimentos)
	Ganhos com redução perdas técnicas (% do faturamento)
	Ganhos com redução perdas comerciais (% do faturamento)
	Investimentos diferidos em geração, transmissão e distribuição (R\$)
Sustentabilidade	Ganhos operacionais (% dos custos operacionais)
	Caracterização das cargas do sistema (alta, média ou baixa importância)
	Disponibilidade de profissionais treinados
	Redução impacto ambiental (emissões CO2, eficiência energética)
	Envolvimento do consumidor
Qualidade do serviço	Consistência entre custos x benefícios
	Número de interrupções do fornecimento (FEC)
	Duração das interrupções do fornecimento (DEC)
	Número de falhas em equipamentos
	Duração de falhas em equipamentos
	Conformidade com padrões de qualidade da tensão
	Tempo para localização e isolamento de falhas
Segurança	Número de consumidores com medição automática
	Quantidade de novos serviços oferecidos
Regulação	Conformidade com padrões de segurança operacional
	Conformidade com padrões de segurança cibernética
	Modelos de mercado regulados (tarifas diferenciadas, serviços auxiliares)
	Estrutura sólida de regulação para SG

**3. Quanto aos MOTIVADORES ESTRATÉGICOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SG, selecione a importância, em uma escala de 1 a 5, dos parâmetros abaixo. \***

Um motivador estratégico é algo que responderia à pergunta "por que deve-se investir na instalação de SG?", sob o ponto de vista estratégico das distribuidoras de energia elétrica

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	1 (pouco importante)	2	3	4	5 (muito importante)
Aumento da eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Melhoria da qualidade do sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Crescimento sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Redução de custos operacionais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oferta de novos serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidade de operação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**4. Sugira, caso julgar necessário, a adição de outros motivadores estratégicos para implementar SG.**

.....

.....

.....

.....

.....

## APENDICE B - QUESTIONÁRIO PARA USO COM O MÉTODO AHP

### Julgamento de valor dos critérios e motivadores para o Projeto Paraná Smart Grid - COPEL

Este questionário é parte integrante dos instrumentos de coleta de dados para o desenvolvimento de uma dissertação de mestrado em Engenharia de Produção, com tempo médio de resposta de APENAS 20 MINUTOS. Agradecemos desde já a sua participação!

Elaborado e publicado com autorização e sob orientação de professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, o principal objetivo deste questionário é avaliar, por meio da emissão de julgamentos de valor sobre um conjunto de parâmetros pré-selecionados, o Projeto Paraná Smart Grid, piloto sendo desenvolvido pela COPEL, melhor detalhado na tabela a seguir. Julgamentos de valor são baseados na expertise de especialistas, e por isso sua participação é tão importante para nós.

Embasado no método multi-critério de apoio à tomada de decisão, o Analytic Hierarchy Process (AHP), as perguntas deste questionário devem ser respondidas segundo a escala qualitativa a seguir: 1 - MÍNIMA, 3 - BAIXA, 5 - MÉDIA, 7 - ALTA e 9 - ABSOLUTA. Dois tipos de perguntas são feitas neste questionário: um para avaliar o quão importante um CRITÉRIO DE DESEMPENHO é para o projeto em questão; e outro para avaliar a influência de um critério de desempenho sobre cada MOTIVADOR ESTRATÉGICO de implementação de Smart Grids (SG).

Critérios de desempenho são características gerais inerentes a qualquer projeto de SG, enquanto os motivadores são as razões do porquê desenvolver um projeto desta natureza e benefícios esperados com o projeto. No caso das Smart Grids, alguns parâmetros são quantitativos e outros qualitativos, porém, neste questionário as respostas são sempre qualitativas, baseadas em sua expertise como especialista. Os critérios e motivadores foram pré-selecionados da literatura e confirmados com especialistas através da aplicação do método Delphi de apoio à tomada de decisão.

Após o tratamento dos dados coletados com diversos especialistas, o método do AHP fornece valores numéricos que representam o quão importante um MOTIVADOR ESTRATÉGICO é para o projeto sendo avaliado e que CRITÉRIOS DE DESEMPENHO são mais relevantes para atender aos objetivos do projeto sendo analisado. A ideia é que as respostas obtidas com a avaliação por meio do método AHP variem de projeto a projeto, uma vez que necessidades, objetivos, topologias, entre outros aspectos das Smart Grids também variam, dependendo da área de abrangência e estratégia da distribuidora de energia para um projeto desta natureza. Dessa forma, utilizando-se o método do AHP, poder-se-iam definir prioridades estratégicas e fatores mais relevantes de implementação para diversos projetos de SG, auxiliando os tomadores de decisão da distribuidora a gerir de maneira mais eficiente e eficaz projetos de Smart Grids.

Reforçamos o caráter confidencial da pesquisa sendo realizada, e agradecemos novamente sua colaboração na realização desta pesquisa!

**\*Obrigatório**

#### 1. Diga seu nome, cargo e organização \*

Esta primeira pergunta é apenas por motivos de identificação do respondente, não serão reveladas informações pessoais aos demais entrevistados.

.....



Nome do projeto	PARANÁ SMART GRID	
Empresa	COPEL DISTRIBUIÇÃO	
Descritivo do projeto	O Projeto é uma iniciativa do Governo do Estado e da Copel e se propõe a realizar aplicações de elementos de Redes Elétricas Inteligentes - "smart grids" - na Distribuição de Energia, com o estabelecimento de um Piloto em área de alta densidade de carga e visibilidade, através de demonstração dos sistemas atualmente em implantação e de testes de conceitos para antecipação de aplicações futuras.	
Consumidores	Número de consumidores	10000
Dados de rede	Km de rede	42,4
	Quantidade de Ses	2
	Quantidade de alimentadores	2
Abrangência	Local de implantação (bairro, município, cidade,...)	Bigorriho/Curitiba
Estágio atual	em análise	
	buscando dados	
	planejamento	
	desenvolvimento	segunda etapa - 2015/2016
OUTRAS INFORMAÇÕES	finalizado	
	Projeto vinculado ao programa "Smart Energy Parana", definido no Decreto Estadual n. 8842/2013. Contempla também medição compartilhada com Compagas e Sanepar.	
INFORMAÇÕES DO PROJETO PILOTO		
MEDIÇÃO	Advanced Metering Infrastructure (AMI)	Grupo A telemedido 100% na Copel com Emera + GPRS Grupo B: testes com sistemas Itron e Landis+Gyr
TELECOM	CYBER SECURITY	Em estudo para automação - UTFPR, UFPR, PUC-PR
	RF MESH	A ser testado (AMR)
	CELULAR	GPRS para Grupo A
	RF PMP	A ser testado (AMR)
	WIMAX, SATELITE	Wimax - não. Satellite - com equipe de campo
AUTOMAÇÃO	FIBRA ÓPTICA	Usado para as chaves na rede e concentradores de medição
	NUM ALIMENTADORES	2
	NUMSUBESTAÇÕES	2
	PROTOCOLOS ADOTADOS	DNP3
	FUSR	Sistema de "self healing" da S&C instalado em 4 chaves e dois religadores. Em desenvolvimento interno sistema semi-centralizado
GD	SOLAR	1400W para demonstração
VE	SIM	1 em exposição
ARMAZENAMENTO	SIM	1 em teste junto com o gerador solar
CONSUMIDOR	GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA	previsto em segunda etapa com projeto de P&D
	ELETRODOMESTICOS EFICIENTES	previsto em segunda etapa
	AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	Demonstração de aplicação da Schneider
	PRIVACIDADE DE DADOS	estudos com utfpr, ufpr e pucpr



**1.Qual a importância da DEMANDA TOTAL DO SISTEMA [MW] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

Em maiúsculas está o parâmetro a ser julgado, entre colchetes sua unidade ou explicação.

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**2.Qual a importância do FATOR DE CARGA DO SISTEMA [%] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**3.Qual a importância do NÍVEL DE PERDAS TÉCNICAS [kW] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**4.Qual a importância do NÍVEL DE PERDAS NÃO-TÉCNICAS (COMERCIAIS) [kW] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**5.Qual a importância da INFRAESTRUTURA ELÉTRICA DO SISTEMA [nº de SEs e de consumidores] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**6.Qual a importância da INFRAESTRUTURA DE TELECOMUNICAÇÕES DO SISTEMA [nº de sensores para atingir funcionalidades] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**7.Qual a importância da VIDA ÚTIL DOS RECURSOS [anos] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**8.Qual a importância da FACILIDADE DE OPERAÇÃO [nível de automação, capacidade de isolamento de faltas, controle remoto do sistema, etc.] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**9.Qual a importância da GESTÃO PELO LADO DA DEMANDA [disponibilização de informações para o consumidor e kW retirados da ponta] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**10.Qual a importância da POTÊNCIA ABSORVIDA ATRAVÉS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA [capacidade de absorção estável e segura] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**11.Qual a importância da INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS E SISTEMAS [taxa de falhas durante aquisição ou processamento de dados] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**12.Qual a importância das FERRAMENTAS DE SUPORTE [controle de processos para gestão do sistema inteligente] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**13.Qual a importância do FATURAMENTO TOTAL DO SISTEMA [R\$] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**14.Qual a importância do INVESTIMENTO INICIAL EM HARDWARE [R\$ - medidores, sensores, concentradores] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**15.Qual a importância do INVESTIMENTO INICIAL EM SOFTWARE [R\$] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**16.Qual a importância do CUSTO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA [% dos investimentos] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**17.Qual a importância dos GANHOS COM REDUÇÃO DE PERDAS TÉCNICAS E COMERCIAIS [% do faturamento] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**18.Qual a importância dos GANHOS OPERACIONAIS (REDUÇÃO EQUIPES MANUTENÇÃO, LEITURISTAS, ETC.) [% dos custos operacionais] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**19.Qual a importância dos INVESTIMENTOS DIFERIDOS EM GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO [R\$] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**20.Qual a importância da CARACTERIZAÇÃO DE CARGAS DO SISTEMAS [alta, média ou baixa importância] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**21.Qual a importância da ESCALABILIDADE [nº de reclamações/nº clientes atendidos] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**22.Qual a importância da DISPONIBILIDADE DE PROFISSIONAIS TREINADOS [mão de obra especializada para instalar e operar o sistema inteligente] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**23.Qual a importância da REDUÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL [emissões de CO2 e eficiência energética] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**24.Qual a importância do ENVOLVIMENTO DO CONSUMIDOR [ciência do projeto, engajamento como prosumidor] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

Prosumidor é um consumidor que também possui geração distribuída instalada  
*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**25.Qual a importância da CONSISTÊNCIA ENTRE CUSTOS X BENEFÍCIOS [viabilidade do projeto] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**26.Qual a importância do NÚMERO DE INTERRUPÇÕES DO FORNECIMENTO [FE para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**27.Qual a importância da DURAÇÃO DAS INTERRUPÇÕES DO FORNECIMENTO [DEC] para avaliar o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**28.Qual a importância da CONFORMIDADE COM PADRÕES DE FORNECIMENTO DE TENSÃO [atendimento às normas] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**29.Qual a importância do TEMPO PARA LOCALIZAÇÃO, ISOLAMENTO E REPARO DE FALTAS [minutos] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**30.Qual a importância do NÚMERO DE CONSUMIDORES COM SMART METER (COM CAPACIDADE PARA NOVOS SERVIÇOS) [unidades] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**31.Qual a importância da QUANTIDADE DE NOVOS SERVIÇOS OFERECIDOS [unidades] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**32.Qual a importância da CONFORMIDADE COM PADRÕES DE SEGURANÇA OPERACIONAL [atendimento às normas] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta



**33.Qual a importância da CONFORMIDADE COM PADRÕES DE SEGURANÇA CIBERNÉTICA [atendimento às normas] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**34.Qual a importância de MODELOS DE MERCADO REGULADOS [tarifas diferenciadas, oferta de serviços auxiliares, etc.] para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**35.Qual a importância de uma ESTRUTURA SÓLIDA DE REGULAÇÃO PARA SMART GRIDS para o Projeto Paraná Smart Grid? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Mínima
- ☐ Baixa
- ☐ Média
- ☐ Alta
- ☐ Absoluta

**36.Qual a influência do DESEMPENHO TÉCNICO sobre os motivadores para implementar o projeto (linhas)? \***

Desta pergunta em diante avalia-se, utilizando a mesma escala, o quanto cada grupo de critérios influencia os motivadores que a distribuidora possui para implementar o Projeto Paraná Smart Grid. Por exemplo: pode-se acreditar que os critérios de segurança possuam alta influência sobre o crescimento sustentável, mas baixa sobre a qualidade do serviço.

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Mínima	Baixa	Média	Alta	Absoluta
Melhoria da eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento da qualidade do serviço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Crescimento sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oferta de novos serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidade de operação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**37.Qual a influência do DESEMPENHO ECONÔMICO sobre os motivadores para implementar o projeto (linhas)? \***

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Mínima	Baixa	Média	Alta	Absoluta
Melhoria da eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento da qualidade do serviço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Crescimento sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oferta de novos serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidade de operação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**38.Qual a influência da SUSTENTABILIDADE sobre os motivadores para implementar o projeto (linhas)? \***

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Mínima	Baixa	Média	Alta	Absoluta
Melhoria da eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento da qualidade do serviço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Crescimento sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oferta de novos serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidade de operação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**39.Qual a influência da QUALIDADE DO SERVIÇO sobre os motivadores para implementar o projeto (linhas)? \***

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Mínima	Baixa	Média	Alta	Absoluta
Melhoria da eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento da qualidade do serviço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Crescimento sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oferta de novos serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidade de operação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**40.Qual a influência da SEGURANÇA (operacional e cibernética) sobre os motivadores para implementar o projeto (linhas)? \***

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Mínima	Baixa	Média	Alta	Absoluta
Melhoria da eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento da qualidade do serviço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Crescimento sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oferta de novos serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidade de operação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**41. Qual a influência da REGULAÇÃO sobre os motivadores para implementar o projeto (linhas)? \***

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Minima	Baixa	Média	Alta	Absoluta
Melhoria da eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento da qualidade do serviço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Crescimento sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oferta de novos serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidade de operação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

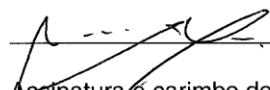
## ANEXO A



## TERMO DE CIÊNCIA DE REALIZAÇÃO DE PESQUISA

Eu, Julio Shigeaki Omori, abaixo assinado, representante da Companhia Paranaense de Energia – COPEL, me comprometo a auxiliar na realização do estudo “**Modelo para Avaliação de Projetos de Soluções para Smart Grids**”, no que concerne à disponibilização de dados e informações sobre o projeto-piloto da instituição que represento, o “Projeto Paraná *Smart Grid*”, para fins de pesquisa acadêmica. A pesquisa, com duração máxima até março de 2016, será conduzida pelos pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEPP da Universidade federal do Paraná – UFPR abaixo relacionados. Fui informado pelo responsável do estudo sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas na instituição a qual represento.

Curitiba, 06 de Abril de 2015

  
Assinatura e carimbo do responsável institucional

Julio Shigeaki Omori  
Diretor de Proc. de Manuf. e Automação da Distribuição  
SED/OPMA - Fone: (41) 3331-8642  
julio.omori@copel.com

## LISTA NOMINAL DE PESQUISADORES:

Guilherme Augusto Schünemann de Oliveira

Profº Dr. Robson Seleme